生活の中の物理学
Physics in Everyday Phenomena

第8回　2026/11/9

第4章　熱（2）

真貝　寿明
Hisaaki Shinkai



真貝の武庫川講義ページtop

https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

【天文観望】

11月12日(水)深夜 おうし座北流星群が極大

2025年11月12日、おうし座北流星群の活動が極大となる。同時期に活動するおうし座南流星群と合わせて、11月中旬ごろに小規模な出現が見られる。今年は火球の割合が例年以上に高めとの予想もある。

11月上旬から中旬にかけて、おうし座南・おうし座北流星群の活動が見られる。はっきりとした極大のない流星群だが、南群は11月5日ごろ、北群は11月12日ごろが極大とみられている。両群とも母天体は周期3.3年のエンケ彗星である。

2つの群を合計しても1時間あたり最大で5～10個ほどの小規模な流星群だが、火球の割合が高いことで知られ、明るいものを目にできるかもしれない。さらに今年は、その火球の割合が例年以上に高い可能性も指摘されている。月明かりの影響が大きいタイミングのため条件は良くないが、少し気にかけて空を見上げてみよう。流れ星の速度は遅め。



天文年鑑による予想では1時間5個

https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/14185_ph251112

寺田寅彦のエッセイをレポートせよ　総評

総評　気合いの入ったレポートをたくさんいただきました.

茶わんの湯	8
津浪と人間	
天災と国防	
電車と風呂	
備忘録	
物質とエネルギー	
物理学と感覚	
漫画と科学	
卵の形	
相撲	
「手首」の問題	
チューイングガム	
科学者とあたま	
科学者と芸術家	
柿の種	
感覚と科学	
雪の話	

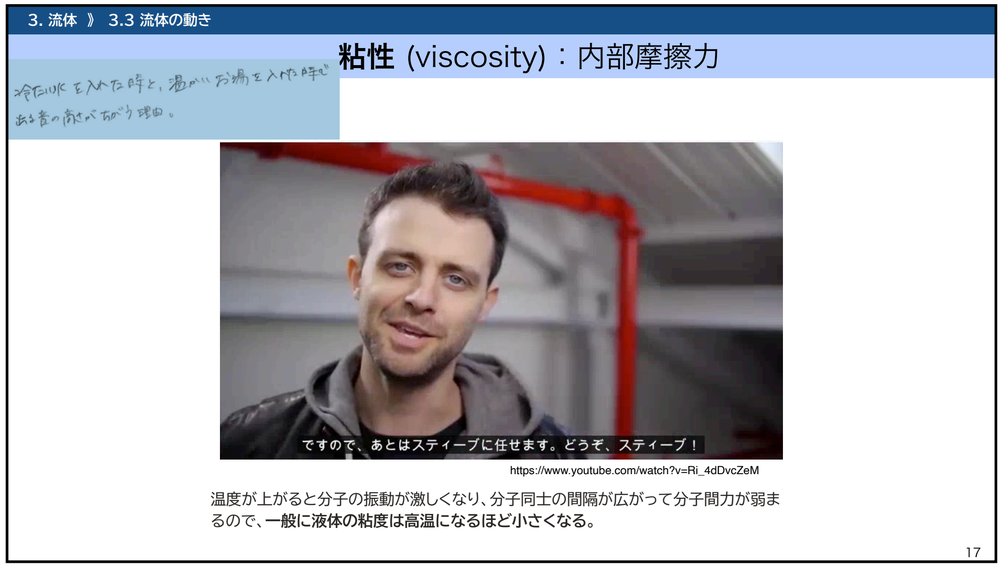
採点基準（20点）

＊期限内提出　3点　＊遅れ提出　減点
＊フォーマット　2点　＊文献提示なし　減点
＊エッセイ紹介　5点　＊考察不足　減点
＊調査・考察　10点　＊論理的飛躍　減点

湯気の色，動きの実験を試みた．渦の発生はレイノルズ数で決まる
虫の等身で，つり合いの法則を適用すると，とんでもなく大きな力が加わっている
物質とエネルギーの本質について調べた　-> 光の正体 -> 二重スリット実験
相撲の技を物理的に考えてみた
文明が進むにつれて天災被害が高まる．SNSで語り継ぐしかない．
視覚、聴覚、痛覚は他の感覚器官よりも刺激が強い．五感に対する寺田の解釈はおかしい．

寺田の注意深い観察力に脱帽した，というレポート
寺田のコメントに異論を感じる，というレポート
日常生活で何気なく目にしている現象にも、さまざまな物理法則が関係していることを学んだ
「身近にある物理現象に改めて興味をもった」
という感想がたくさんありました．
皆さんの繊細／鋭敏な感覚を大切にしてください．

前回のミニッツペーパーから





今日の水が移動する
おもちゃが おもしろかったです！

温度によって水を注ぐ音が変化するのはおもしろいなと思った。
注ぐものが他の液体だったらまた音が変わるのかなと思った。

注ぐものが他の液体だったら？

圧力と温度の関係は 地学の「マグマの融解」とも関わっており、面白いです！
地震が発生する時は、温度が一時上がるのですかね？
私の家の鉄瓶、少ししか水を入れていないのに水が吹き出てくるのは
水が少ない分、高温になりやすく、気体が多くなるからですよね。

水泳の飛び込みの競技は 水温を上げるなど 音と水しぶきは
少なくなるのでしょうか？

水泳の飛び込みが風呂だったら？

木星や土星はガスでできているので大きさが変化することは
ないのか

ガス惑星の木星や土星の大きさは変化するか？

前回のミニッツペーパーから

いろんなところに物理があることがわかった。くもの実験は、家でもやってみおと思った。

バタフライ効果という言葉をはじめてきいたので、興味深かった。

実験 15　雲をつくってみよう

ペットボトル内で雲をつくることができる．大きなペットボトルと，フィズキーパーとよばれる炭酸抜けを防止する栓を用意しよう．ペットボトルの中を少し湿らせ（霧吹きでひと吹き），線香の煙を入れておく（雲の種となる）．フィズキーパーを取り付け，中の空気の圧力を上げる．圧力を上げると，閉じ込められた空気の温度が上がり，ペットボトルの中は透明になるが，そこで一気に栓を開けると，急に圧力が下がり，温度が下がって，露点に達し，雲が発生する．

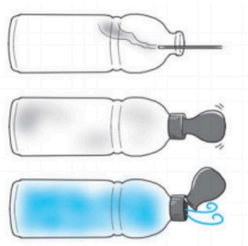
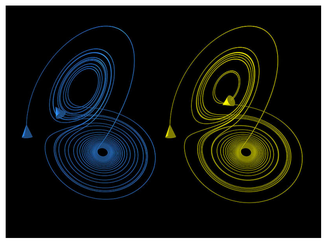


図 4.23　ペットボトルに雲

教科書 p105

バタフライ効果　butterfly effect

カオス力学系で生まれた言葉で，極めて小さな初期条件の差が，やがては無視できない大きな差となる現象のこと．
In chaos theory, the butterfly effect is the sensitive dependence on initial conditions, where a small change at one place in a deterministic nonlinear system can result in large differences to a later state.



http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect

「北京で蝶が羽ばたくと、ニューヨークで嵐が起こる」

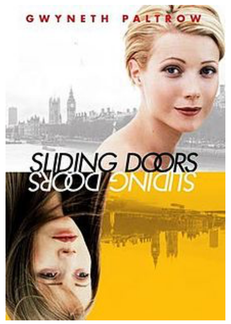
「アマゾンを舞う1匹の蝶の羽ばたきが、遠く離れたシカゴに大雨を降らせる」



Edward Norton Lorenz
(1917-2008)

31





【物理】

鳴門海峡の渦潮ができるしくみ(1)

先日 徳島県に渦潮を見に行ったのですが原理が理解できませんでした。
なぜ渦潮になるのかを分かりやすく教えてください。

MINAMIAWAJI CITY 南あわじ市

Foreign language　閲覧補助　サイト内ＡＩ検索　Google 提供　検索

鳴門海峡の渦潮のしくみ

鳴門海峡は、兵庫県南あわじ市と徳島県鳴門市との間にあります。



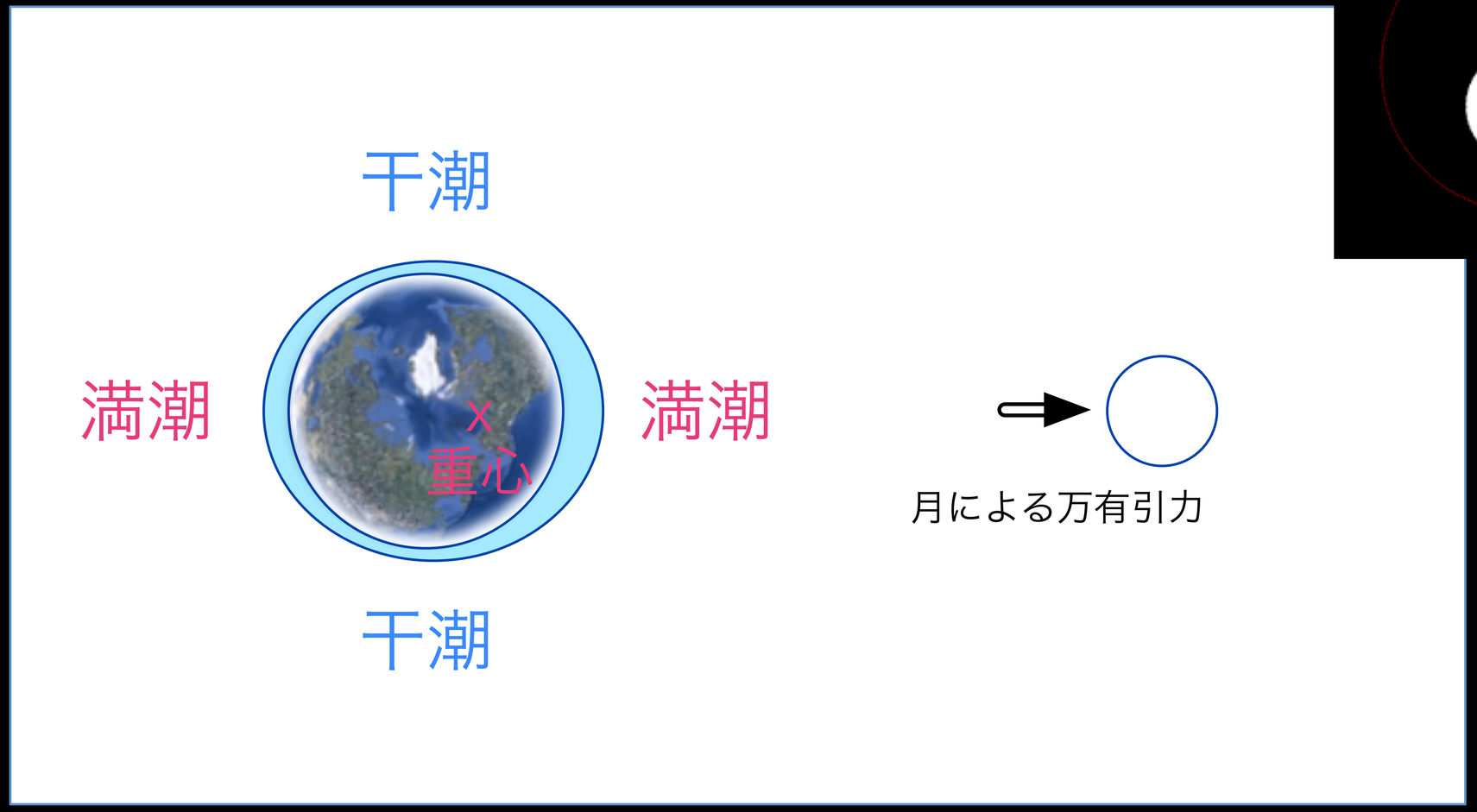




1日に2回, 潮は干満を繰り返す

https://www.city.minamiawaji.hyogo.jp/soshiki/uzushio/shikumi.html

潮の満ち引きの原因は月の重力



地球の自転によって，一日に２回，潮の干満がおきる．
新月のときは，月の方向に太陽もあるので，大潮になる．

【物理】

鳴門海峡の渦潮ができるしくみ(1)

先日 徳島県に渦潮を見に行ったのですが原理が理解できませんでした。
なぜ渦潮になるのかを分かりやすく教えてください。

MINAMIAWAJI CITY 南あわじ市

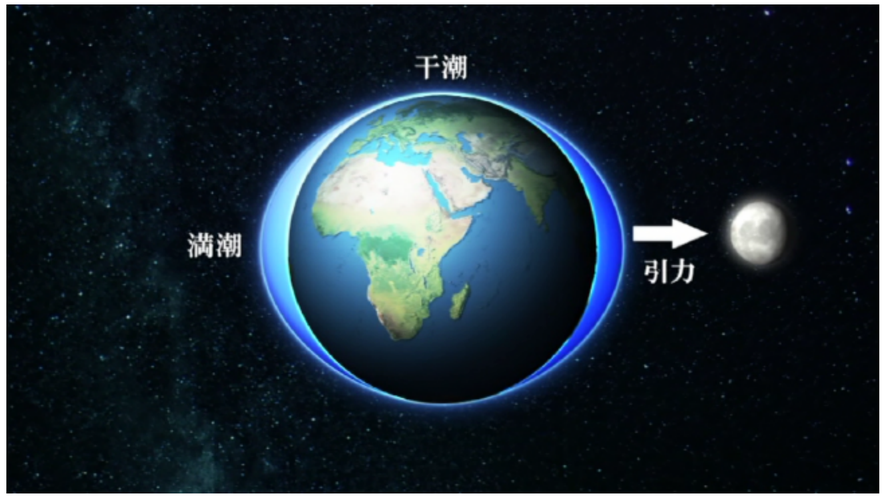
Foreign language　閲覧補助　サイト内ＡＩ検索　Google 提供　検索

鳴門海峡の渦潮のしくみ

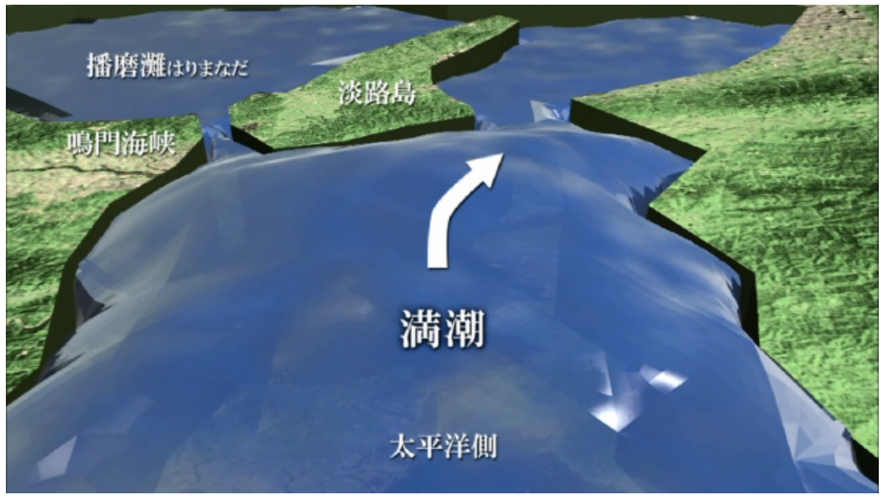
鳴門海峡は、兵庫県南あわじ市と徳島県鳴門市との間にあります。







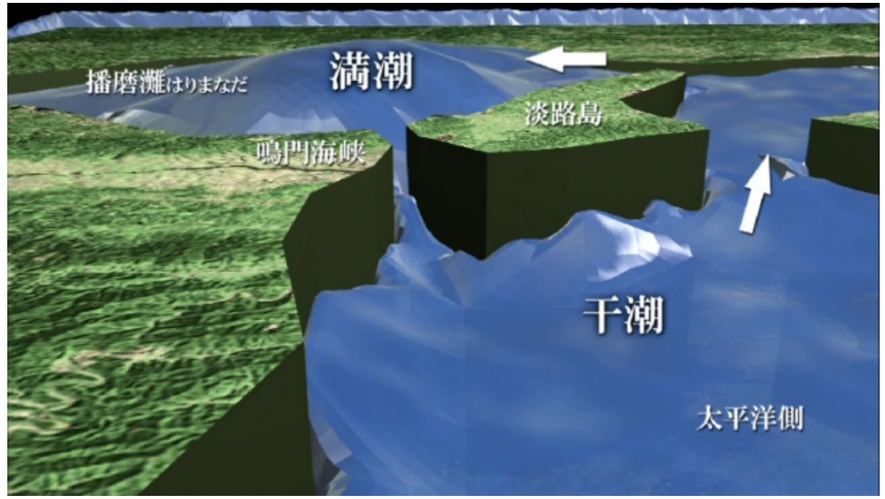
1日に2回，潮は干満を繰り返す



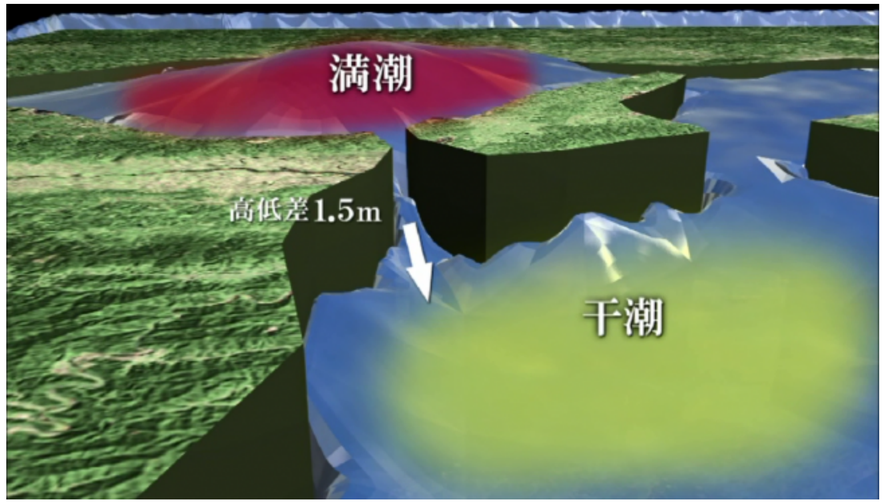
https://www.city.minamiawaji.hyogo.jp/soshiki/uzushio/shikumi.html

【物理】

鳴門海峡の渦潮ができるしくみ(2)

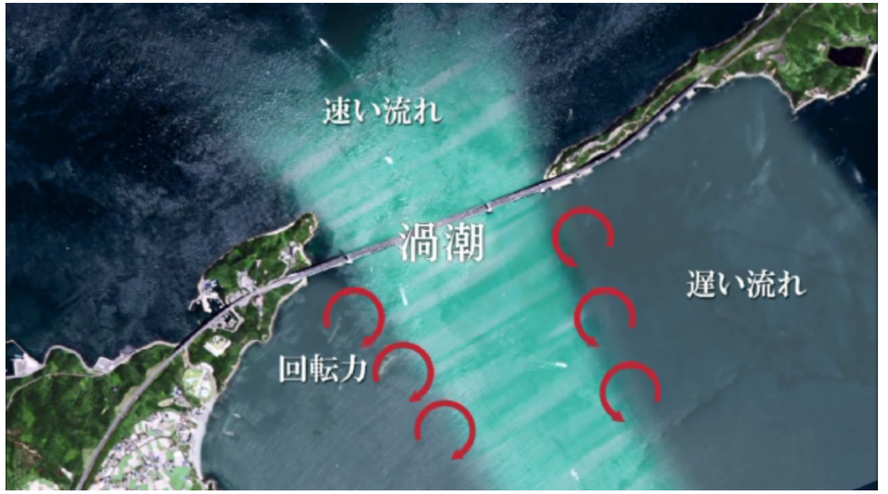


満ち潮が淡路島南岸に到着してから
瀬戸内海が満潮になるまで、約5～6時間かかる

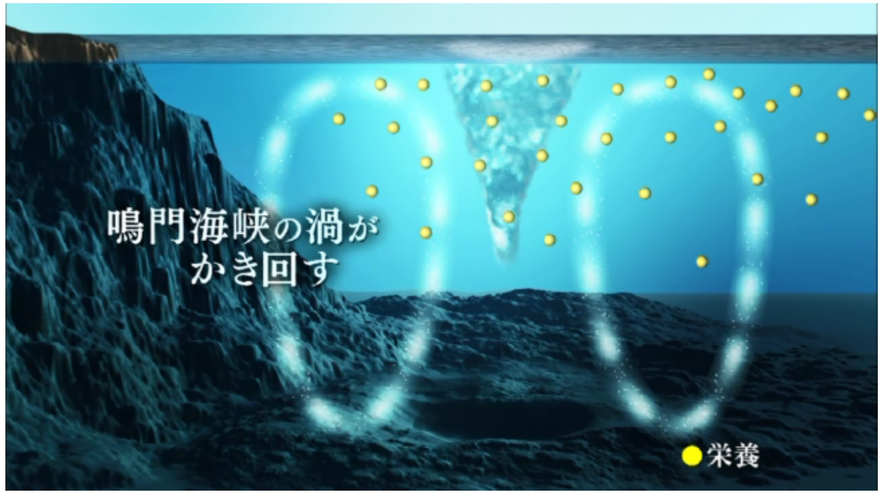


鳴門海峡の海面の高さに落差最大で1.5メートル

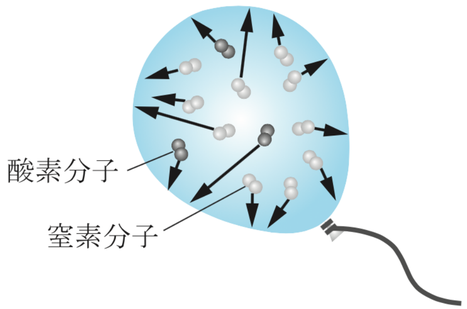
https://www.city.minamiawaji.hyogo.jp/soshiki/uzushio/shikumi.html



1日のうちわずか数時間、満潮と干潮の前後の時間帯にのみ見られる自然現象.
播磨灘が満潮時には、鳴門側から見て左から右に潮は流れる.
しかし約6時間後、播磨灘が干潮になると潮の流れは反対になる.
こうして満潮と干潮で、大鳴門橋の両側に交互に渦潮が生まれる.

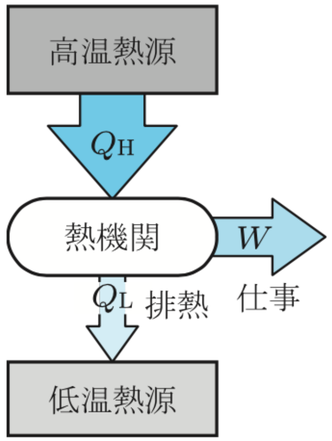


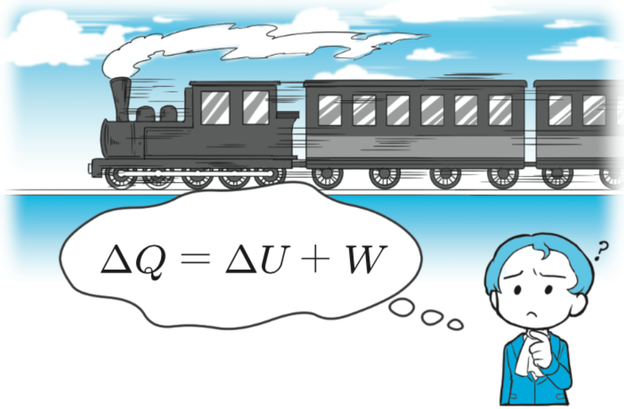






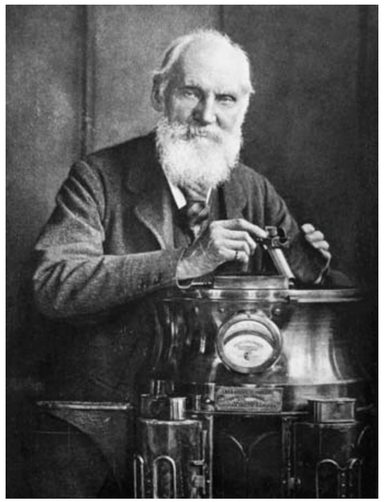






○第４章　熱と気体―熱エネルギー ―――― 109
4.1　温度は何で決まるのか―目にみえないが感じられる分子運動　110
4.2　気体の法則・熱力学の法則―エネルギーの移動とうまくつきあう　120
4.3　熱効率と不可逆変化―永久機関はなぜ不可能なのか　128

4.1　温度は何で決まるのか



Lord Kelvin
(1824–1907)

定義　**絶対温度**

温度は，日常では摂氏温度 $t\,[\mathrm{℃}]$ だが，物理法則では**絶対温度** $T\,[\mathrm{K}]$（ケルビン）を使う．両者の関係は，次の式のようになる．

$$\text{絶対温度 } T\,[\mathrm{K}] = \text{摂氏温度 } t\,[\mathrm{℃}] + 273.15 \qquad (4.1)$$

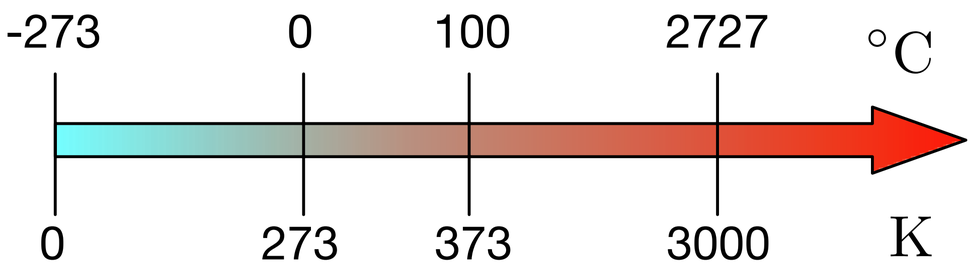
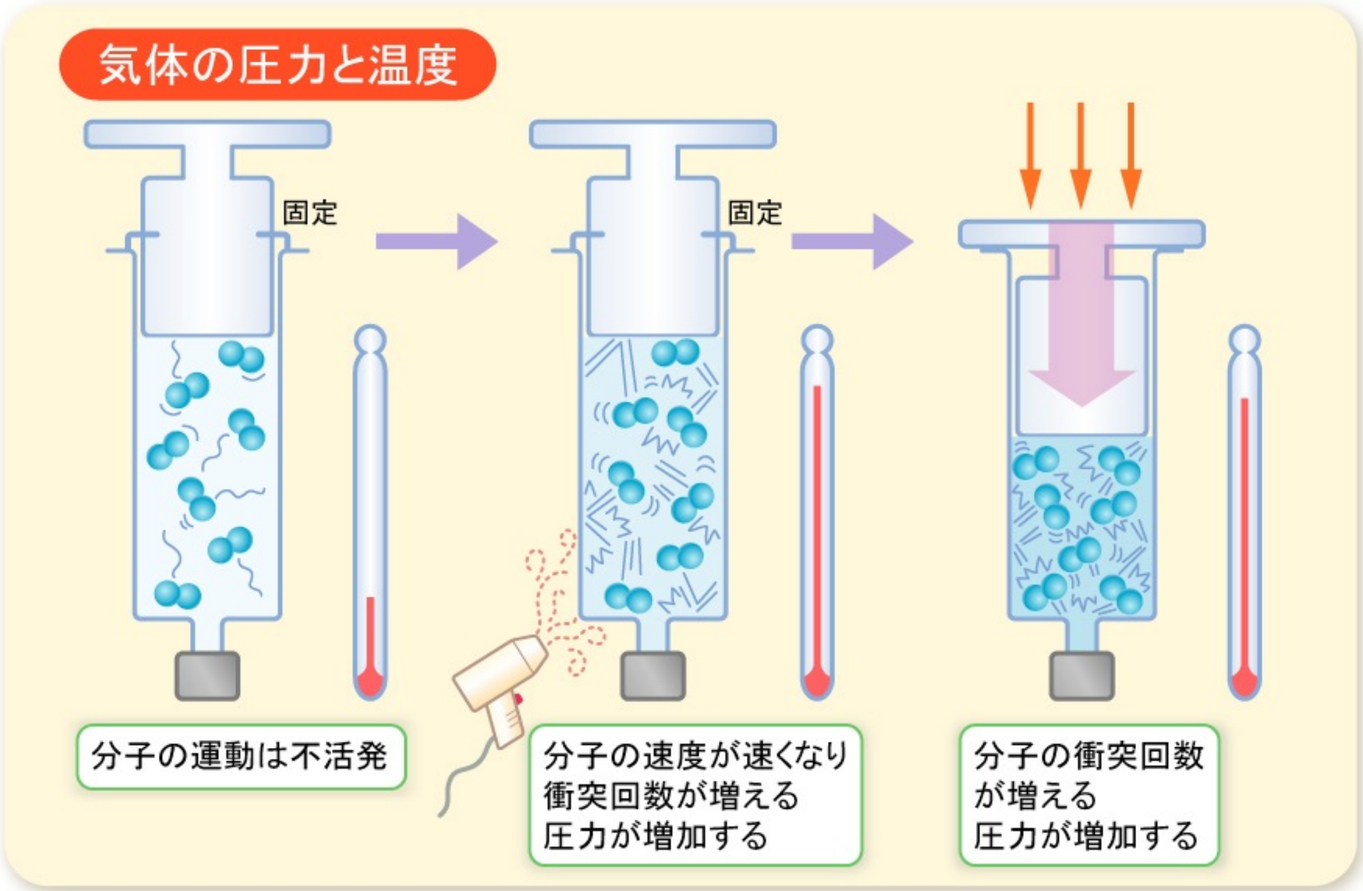


図 4.3　絶対温度は，分子の熱運動がゼロとなる最低温度を 0K としたもの
0℃ = 273.15 K であり，100℃ = 373.15 K である．

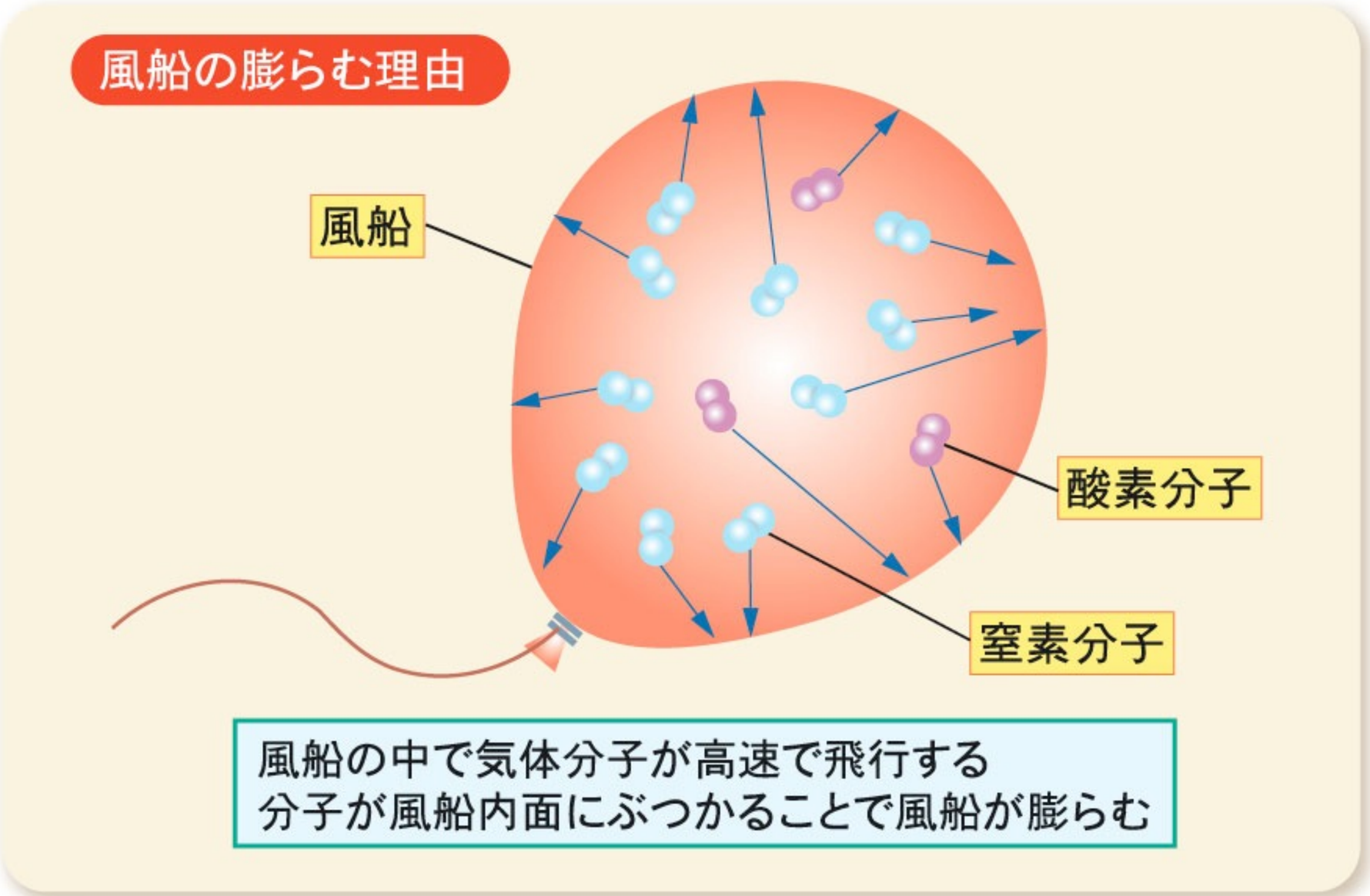
4.1　温度は何で決まるのか



温度＝分子の運動の激しさ（＝運動エネルギー）

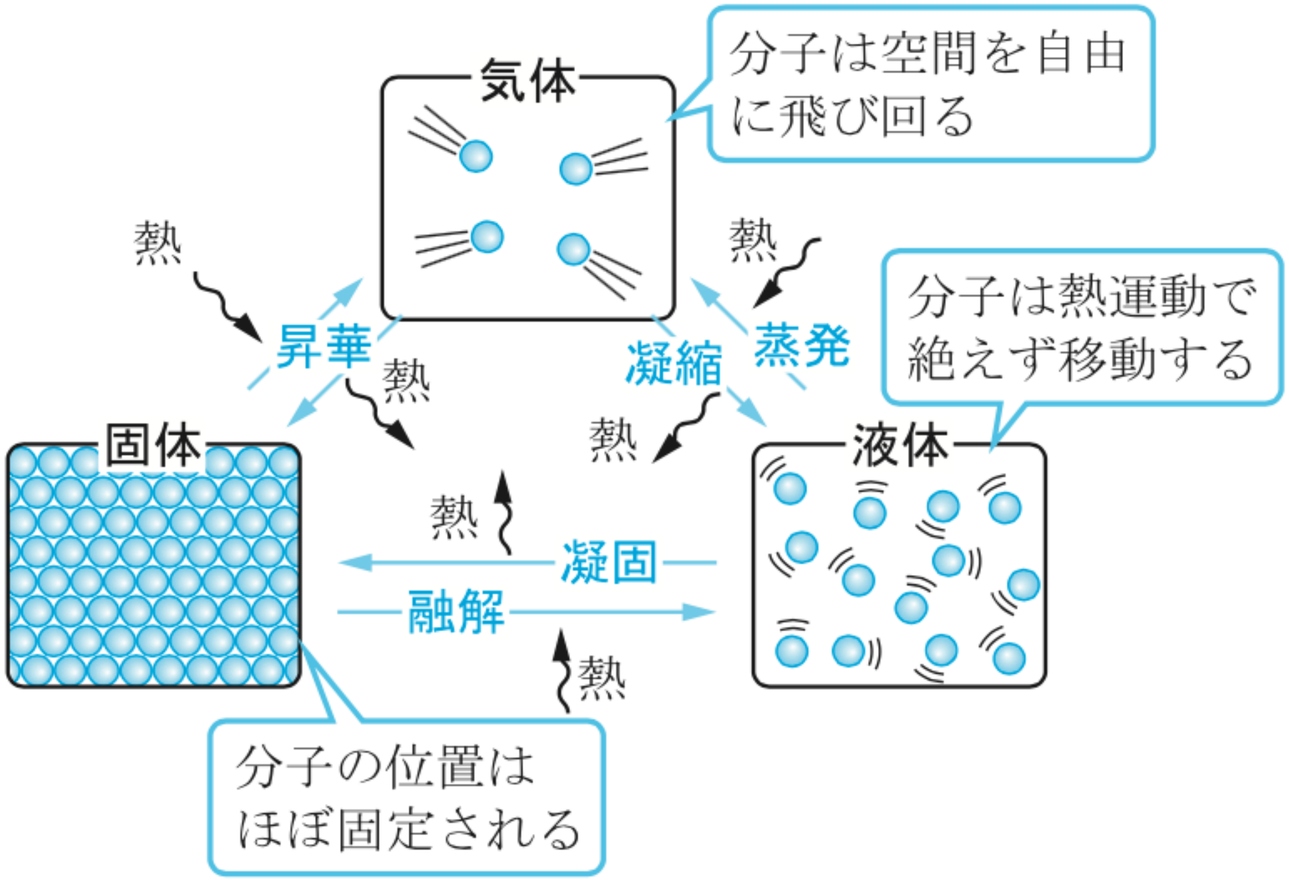
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/contents/30302.html

分子運動で説明できる

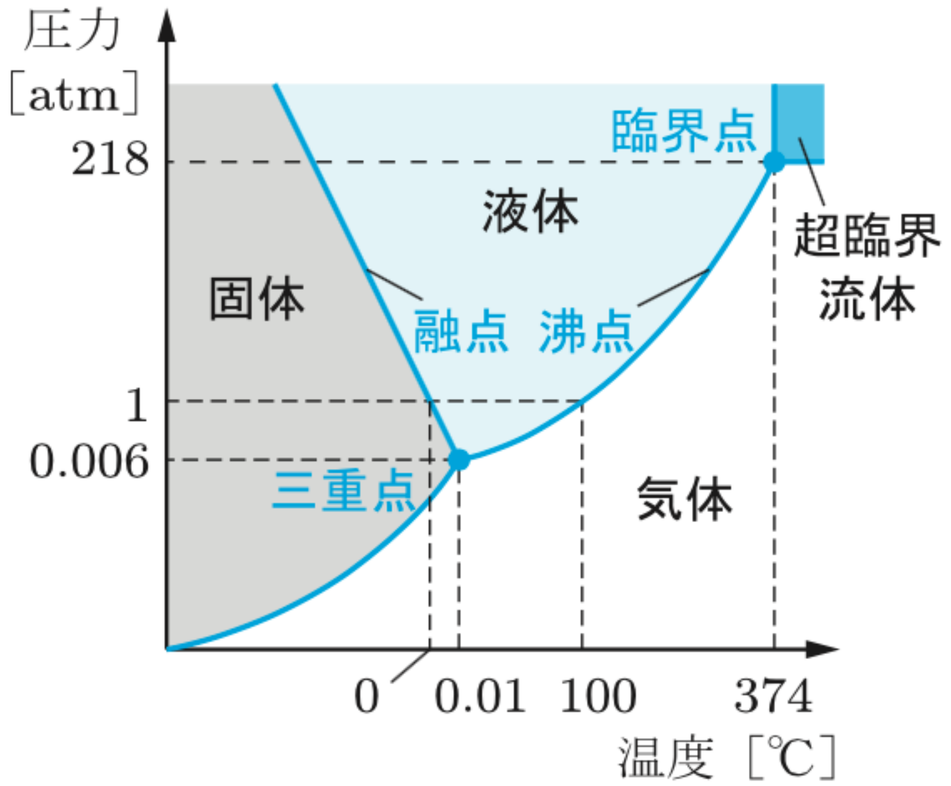


http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/contents/30301.html

物質の三態



（a）物質の三態



（b）水の状態図

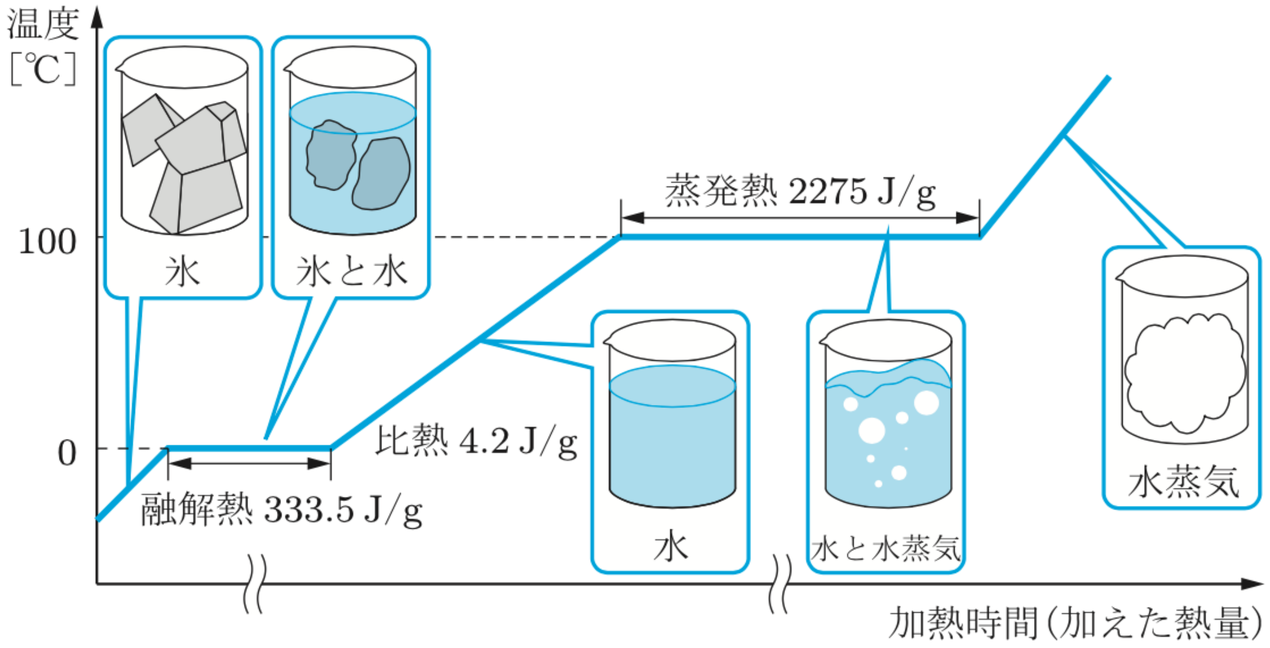
融解熱・気化熱（蒸発熱）

氷の融解熱

1 g あたり，
333.5 J/g = 80 cal/g
1 mol あたりでは，
6 kJ/mol=1440 cal/mol

水の蒸発熱

1 g あたり，
2257 J/g = 540 cal/g
1 mol あたりでは，
41 kJ/mol = 9720 cal/mol





紙すき鍋は，なぜ燃えないのか？

沸騰している間は，100度．紙の発火点は450度．

火事で水をかけるのは？

100度に下がるから



物質はどうやって形を保っていますか？

分子どうしの結合によって．（電気的結合によって）

前回のミニッツペーパーから

次の文の誤りを指摘せよ
「地球の温暖化で北極や南極の氷が融けると海水面が上昇する」

正解　北極の氷は融けても海水面は上昇しない．陸地のある南極の氷がとけた分は海水面を上昇させる．

北極の氷は海水だからとけても海面は上昇しない。
南極の氷は陸の上に存在するため、とけて海に流れると海面が上昇する。

北極の海に浮いている氷は融けても、海水面は上昇しない

北極の海氷が融けても、海水面はほとんど上昇しない。
陸上の氷が融けると海水面が上昇する。

北極の海に浮かぶ氷が融けても、海水面はほとんど上昇しない。南極の氷が融けると海水面は上昇する。

北極や南極の氷が全て浮いているわけではないから、正確な表現ではない。

説明不足

海に浮かんでいる氷と陸上にある氷を区別していないこと

北極の氷は海に浮かんでいて海水面は上昇しない
南極の氷は陸にあるから海水面が上昇する
↳ "北極や"の部分が誤り

北極は大陸がなく、海に氷が浮
いるため、溶けても海水面は変化しな

地球温暖化で、北極や南極の氷が溶けると海水面が上昇す
北極の氷はもともと海水に浮いているものなので、溶けても
水位は上がらない．南極大陸の大きな氷が崩れて溶けたとき
などに水位が上昇する．

誤答

氷がとけても水の体積は変わらないため上昇することはないと考えました

海水面は上昇しない。

逆

南極は大陸だから氷がとけてもあまり関係ない

南極の氷床融解「近い将来連鎖する恐れ」国立極地研など

9千年前の現象を解析

南極の氷床は将来、連鎖的な融解が始まる可能性があると、国立極地研究所や産業技術総合研究所などのグループが発表した。氷床が急激に縮小した約９千年前の現象を解析して明らかにした。

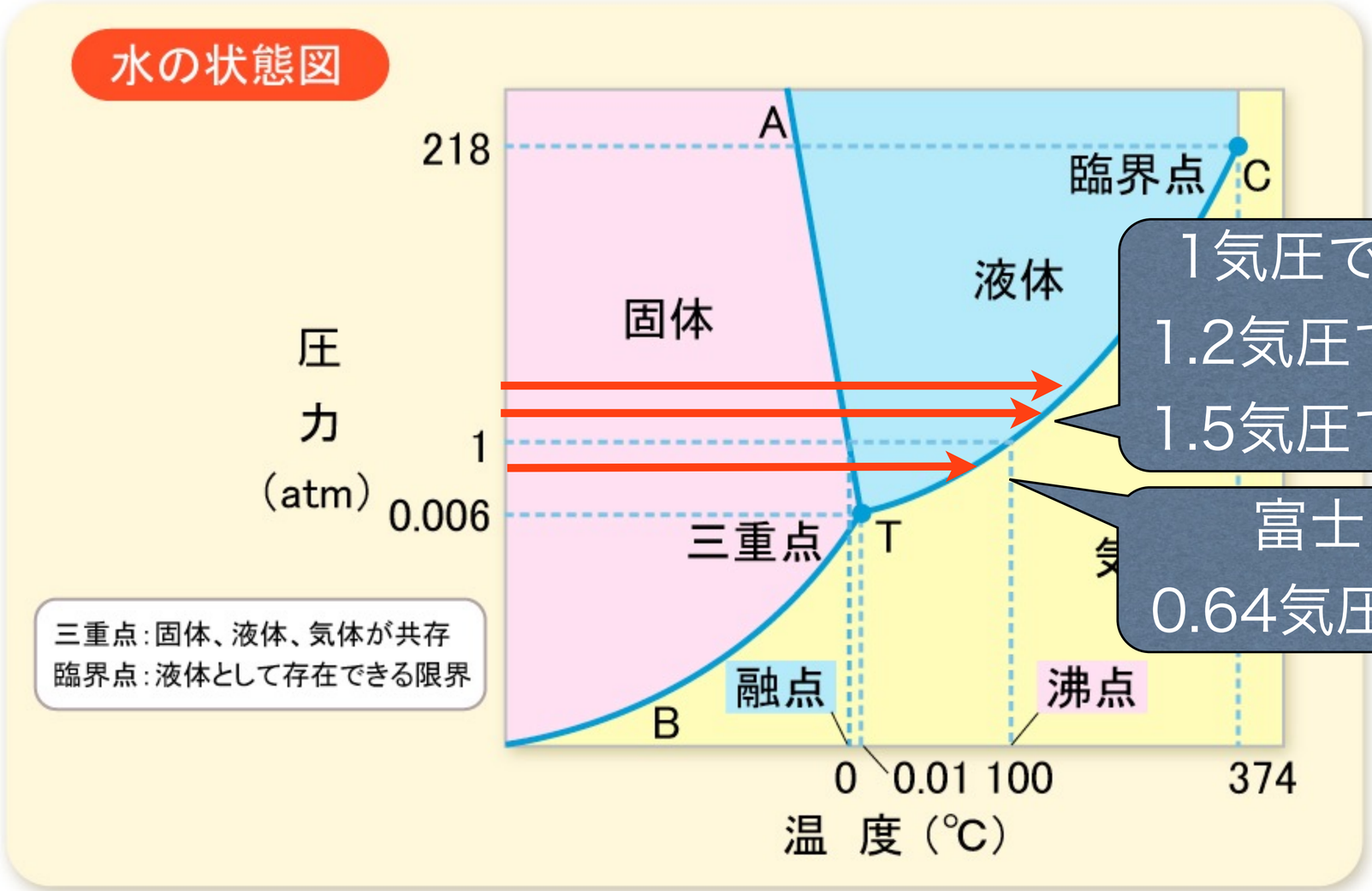
南極には地球上の約９割の氷がある。近年、地球温暖化の影響で氷床の融解が観測され、海面上昇や環境変化につながることから、メカニズムを探った。

昭和基地周辺で採取した海底堆積物の分析と沿岸地形の調査から、過去に起きた氷床の融解過程を解析した。

約９千年前の融解は、温かい深層水が流入し、南極大陸から海の上へとつながって浮かぶ「棚氷」が大規模に崩壊。せき止めの効果があった棚氷が壊れたことで、南極の氷床が海に流れ出た。

研究グループの菅沼悠介・極地研教授は、局所的な現象が連鎖して増幅した点に注目。「このまま南極氷床の融解が続くと、近い将来には連鎖が始まり、急激かつ不可逆的に融解していく可能性が高い」という。国連の気候変動に関する政府間パネル（ＩＰＣＣ）は、2300年までに世界の海面水位は約２～７㍍上がると予測していたが、「今回の結果はこれより速いペースでの上昇を示唆する」としている。（中山由美）

2025.11.10 朝日新聞



http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/contents/30202.html

前回のミニッツペーパーから

圧力鍋を使うと，なぜ短時間で調理できるのか？

110-120度で茹でることにより，分子構造の分解が早くなる

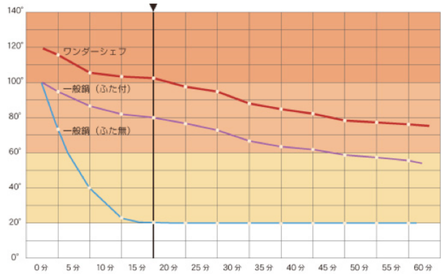
【身近な技術】

圧力鍋



	普通鍋	圧力鍋
黒豆	4時間	1時間45分
豚の角煮	70分	35分
ふろふき大根	30分	15分
茶碗蒸し	20分	7分

内部は，およそ2気圧で120℃，性能の良いものは2.45気圧で128℃程度になる．
この高温により食材を構成する分子の運動が加速され，早く熱分解して調理することが可能．調理時間は3分の1から4分の1に．



★加圧時間＋蒸らし時間
★加熱時間が少ないのでエコ
★フタをあけるときには注意

http://www.wonderchef.jp/cooker/detail/

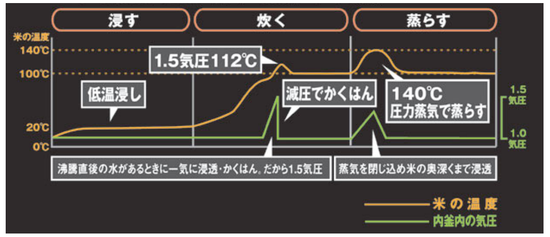
52

【身近な技術】

圧力炊飯



★100度以上でアルファ化が促進
甘み成分が増す．
★圧力が加わりすぎると，ごはんが柔らかくなりすぎる．
★撹拌することも大事



沸騰温度

1気圧で100度
1.2気圧で105度
1.5気圧で115度

http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2006/0711/kaden004.htm
http://kaden.watch.impress.co.jp/cda/word/2008/09/03/2856.html

54

私の家ではあまり圧力鍋を使いませんが，とても良い調理器具だなと思いました．

Topic　湖が凍っても魚が生きられる理由

水は，分子構造上，温度 4°C のときに最も体積が小さくなる．つまり，4°C の水の比重が一番重い．冬に外気の影響で湖が凍っても，湖底には 4°C の水が存在する．厳寒地の魚は 4°C で生き延びられるように進化しているのだ．

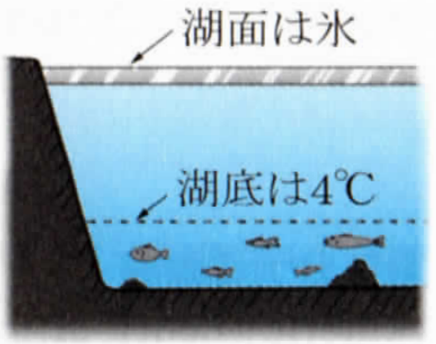


図 4.7　4°C に耐えられれば越冬できる

Topic　過冷却と樹氷

水が凍ったり，沸騰したりするきっかけは，不純物の混入による．精製水をゆっくりと −5°C の冷蔵庫で凍らせようとしても，液体のまま（**過冷却**状態）であり，外気に触れた瞬間に凍りつくことになる．雪国などでみられる樹氷は，過冷却状態の水滴が木にぶつかって，一瞬で凍ることが一つの理由だという．



図 4.8　ぶつかると凍る過冷却の風

過冷却現象

冷蔵庫にいれていたペットボトルの水を出すと，一瞬で凍った.

＝　過冷却現象



Topic　過冷却と樹氷

水が凍ったり，沸騰したりするきっかけは，不純物の混入による．精製水をゆっくりと −5℃ の冷蔵庫で凍らせようとしても，液体のまま（**過冷却**状態）であり，外気に触れた瞬間に凍りつくことになる．雪国などでみられる樹氷は，過冷却状態の水滴が木にぶつかって，一瞬で凍ることが一つの理由だという．



図 4.8　ぶつかると凍る過冷却の風

2021/11/13 大普賢岳（1787m）

前日の雪が霧氷となって木に残っていました.

昼過ぎにはなくなっていました.











熱の伝わり方：伝導・対流・放射

★伝導(conduction)
　物質の内部で熱が伝わること.

鍋やフライパンを火にかける，床暖房
金属スプーンがスープで熱くなる
使い捨てカイロ，アイロン，余熱
風呂の湯が冷たい空気に接して冷める

★対流(convection)
　気体や液体が移動することにより熱が伝わること.

湯が沸く，味噌汁が回転する
風呂の温度が上下で違う
上昇気流／下降気流
冷房，暖房

★放射(または輻射; radiation)
　物体が電磁波の形でエネルギーを放出すること.

太陽光，トースター，こたつ
日焼けサロン，白熱電球
ストーブやたき火，石焼きイモ
サーモグラフィーの画像

前回のミニッツペーパーから

熱々のコーヒーを早く冷ますにはどうするのが一番良いですか？？

息を吹きかける

水面に対して横に息を吹くときいたことがありますが原理はわかりません。

▲質問者の自己回答

平たい容器に

大きい容器にうつして表面積を広げてスプーンでかき混ぜる（対流をおこす）

熱々のコーヒーをはやく冷ますには、コーヒーをできるだけ広い容器に移し、スプーンでかき混ぜると良いと思います。空気に触れる面積を広くすることが大切。（今回のレポート課題で読んだ"茶わんの湯"の知識をいかしました）

容器を移し替え続ける

コップをもう一つ用意して、コーヒーを移すのを繰り返す。空気に触れて冷めやすいかなと思いました！

冷たいものに接触させる

コーヒーを冷たい容器に移し、氷を入れる。

コーヒーを冷たい銅のうつわに入れる

スプーンでかきまぜる。

冷やしたコップにうつしかえ続ける

かきまぜる。

かき混ぜながら息を吹きかける。

コーヒーを混ぜながら風を当てる。

金属性のスプーンでかきまぜる。

別の容器に移し変える

熱伝導のよい金属スプーンを

熱伝導のコップを冷やしておきそこにコーヒーを注ぐ。

表面がより空気にあたるよう浅い容器にして、風をあてることで、熱を放出しやすくなる

かき混ぜたり、広い容器に移したりすると、早くさめる

まぜる

スプーンなどでかき混ぜる

コーヒーをかき混ぜたり、息を吹きかけたりして空気に触れる部分を増やす

雪山に登って氷山の氷をいれる

雪山に登って、氷山の氷を入れて、とにかく掻き混ぜる

うちわで風をあてる

コーヒーをかき混ぜながら、うちわで風を当てる。

風通しがいい場所で金属のコップに入れて冷ます。

氷をいれる

氷を下にしいた状態で風を当てる。

金属性のスプーンでかき混ぜる

机の上に置き、スプーンなどでくるくる混ぜ、上澄みを飲む。昔、麻の雑炊を食べる際表面を薄くすくうようにして食べると良いと教わりました。液体でなくても、混ぜると良いかと思いましたが、行動としては良くないでしょうか。

コーヒーをはやく冷ます方法の絵.
大きな銅の器にいれた熱々のコーヒーを, 雪山に登って氷山の氷をいれて, 金属製のスプーンでかき混ぜ, 上澄みを飲みながら, 時折容器を移し替え, 息を吹きかけながら, うちわで風を当てながら必死に冷まそうとしている絵



ChatGPT

魔法瓶, Thermos

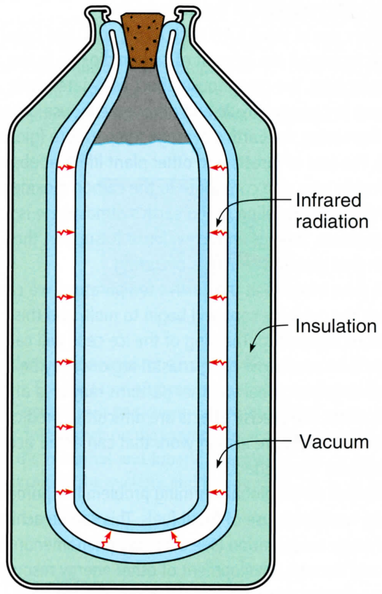


figure 10.21 Radiation is the only mechanism that can carry thermal energy across the evacuated space in a thermos bottle. Silvering the walls reduces the flow of radiation.

熱伝導を防ぐ

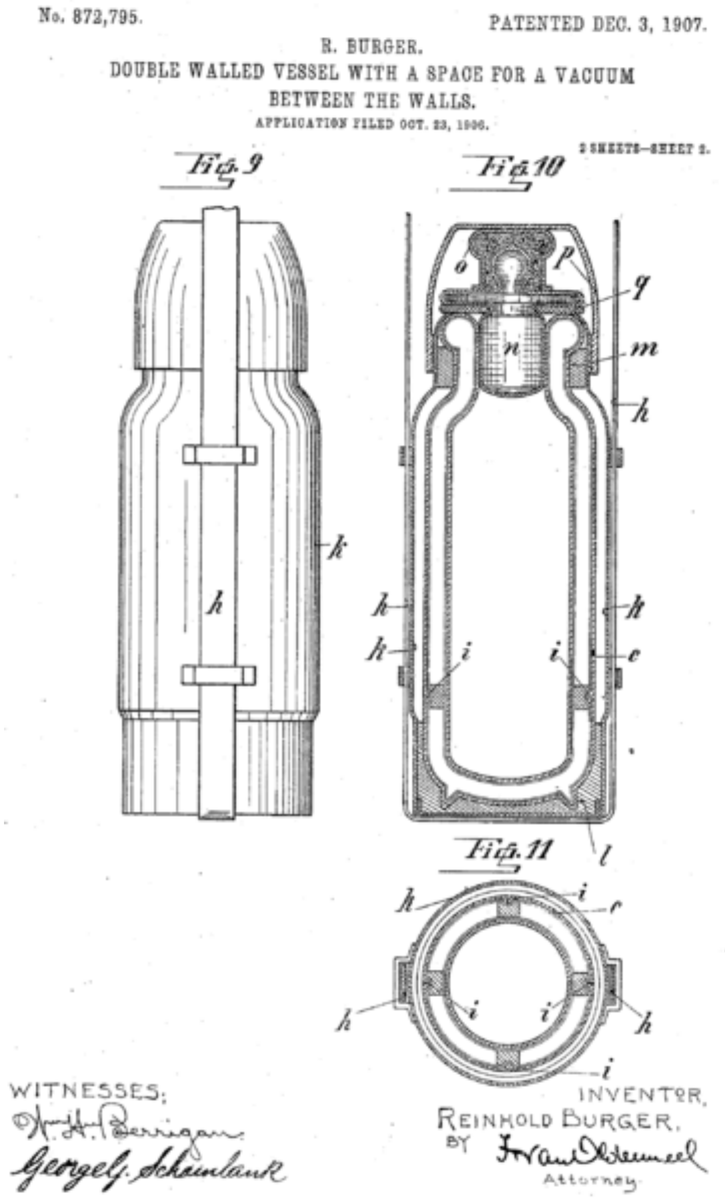
熱放射を防ぐ

保温に優れる





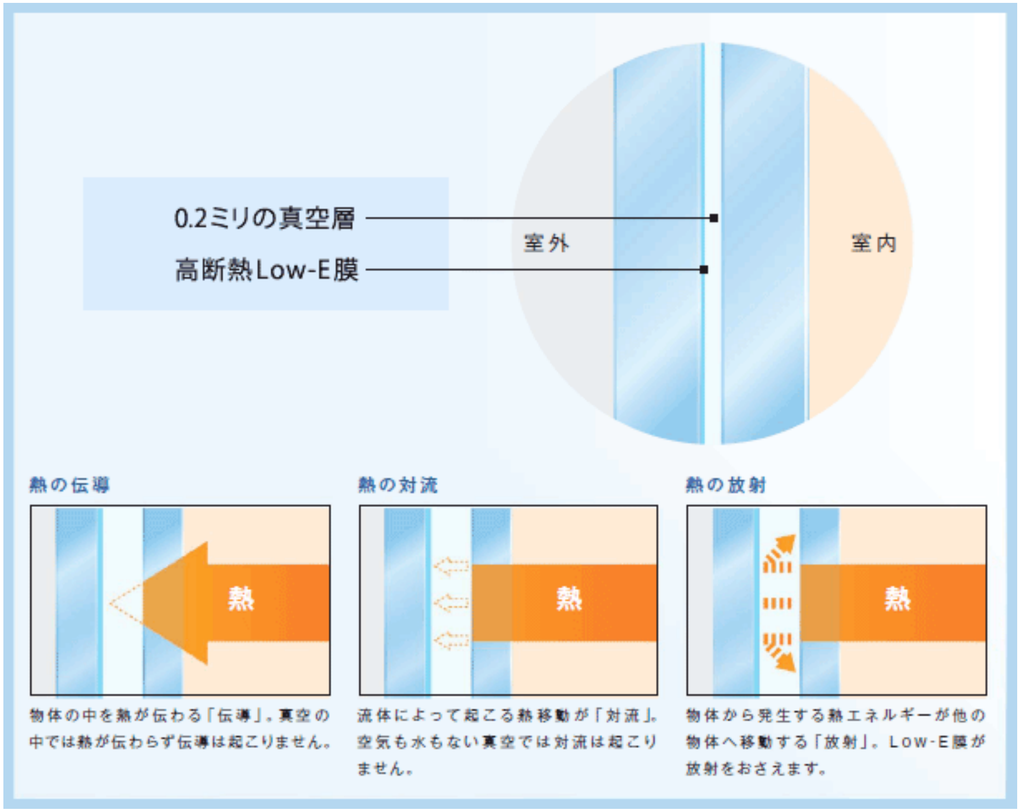




二重窓で防犯・防音・温度遮蔽

２枚のガラスの間には薄い空気（真空）層



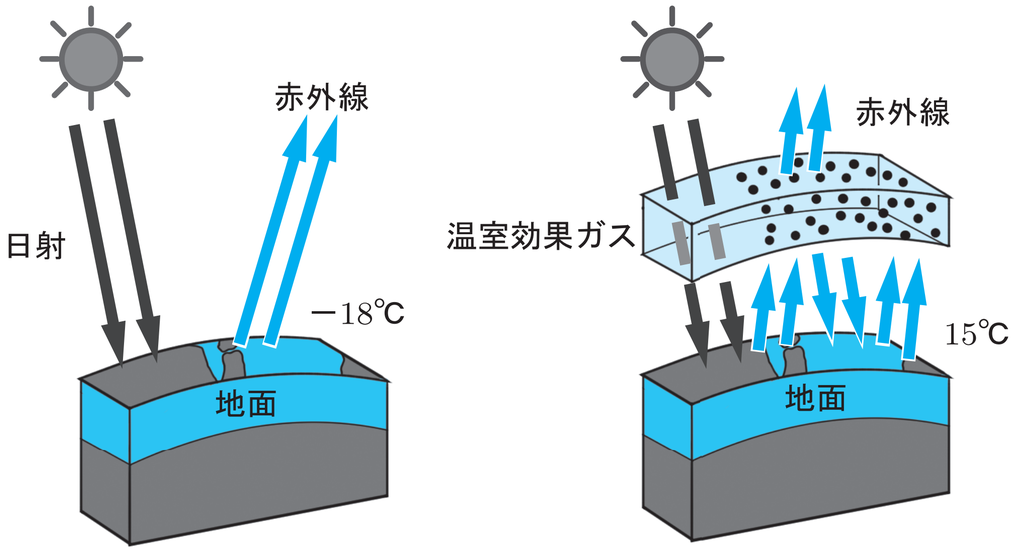


温室効果ガス

Topic　温室効果ガスの役割

太陽から地球に熱が届くのは，放射による．地面や海水面が放射によって暖められ，それが空気や海水を暖める．そして空気や海水が対流を起こして，熱を地球全体に循環させる．もし，地球に空気や水がなかったら，太陽からの熱が当たる部分は灼熱の高温になり，日陰の部分は非常に低い温度になってしまうだろう．

地球の熱も宇宙空間に放射して逃げていく．幸い地球は，温室効果ガスに取り囲まれていて，ある程度の熱は保持される．もし，温室効果ガスがなければ，地表の温度は −18℃ になってしまう．

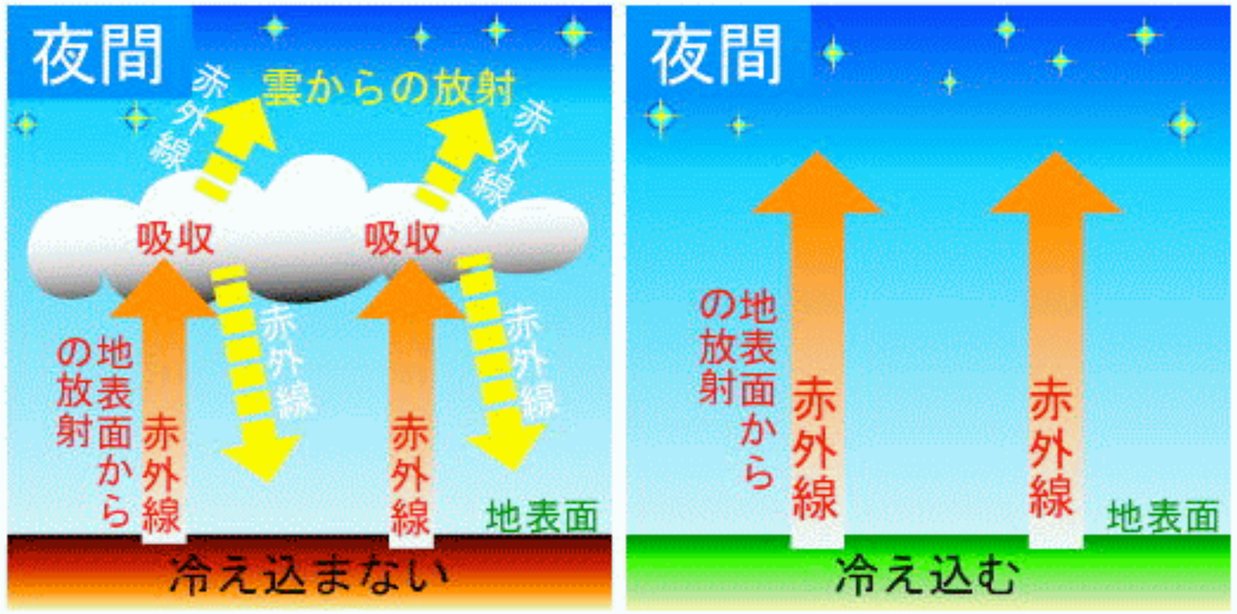


(a)温室効果ガスがない場合　(b)温室効果ガスがある場合

温室効果ガスがなければ，
地表の温度は，−18度

放射冷却

雲がないと夜明けは冷える



http://www.jma-net.go.jp/matsue/chisiki/column/phenomena/radcooling.html

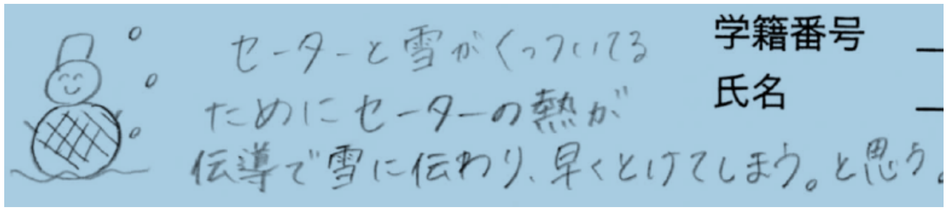
前回のミニッツペーパーから

雪だるまにセーターを着せる．融けるのは速くなるか，遅くなるか．



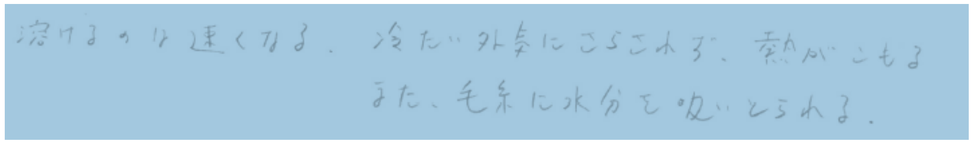
「速くなる」説　7名

セーターに雪がしみこむ



あたためられる　風を防ぐ





前回のミニッツペーパーから

雪だるまにセーターを着せる．融けるのは速くなるか，遅くなるか．



「遅くなる」説　多数

遅くなる．雪だるまの冷気がセーターでふせいでくれるから…？

遅くなる．外からの熱が雪だるまに伝わりにくくなるから

遅くなる
理由
セーターが断熱材のような役割を果たし，周囲の暖かい空気から雪だるまに伝わる熱を減らすから

内部の温度が保たれる　断熱作用で雪が保温される

遅くなる。氷の温度が一定に保たれやすくなるから。

遅くなる？セーターで断熱される，雪だるまが温かくなるわけではない

セーターが断熱材の役割をして外から雪だるまに伝わる熱を少なくする

外気と接触が減る，日光が当たらなくなる

熱が伝わりにくくなる

セーターによって日差しをさえぎり、外の熱から守れると思うから。

遅くなる
セーターが外からの熱を遮るから

日光を遮り保存状態になりそう。

遅くなる．
セーターが周囲の熱を伝わりにくくするため．

セーターを着ることで
空気の外に
外の熱が伝わりにくくなる
暖かい空気

遅くなる．
理由：セーターは熱を伝えにくい断熱材の役割をするから考えるため．速度は変わらない．

セーターを着て暖かいのは体温の影響だから

と、とけるのはおそくなる。セーターが空気を含んでいて、外からの熱が伝わりにくくなるため。

融けるのは遅くなる．
理 セーター自体は暖かいわけではないのと、熱の移動を防ぐから．

遅くなる。セーターが熱を伝えにくくするから

遅くなる。セーターは断熱効果があって雪だるまを守る
単純に命が宿るので長生きすると思います。

遅くなる。セーターが断熱材の役割をして、外の熱が雪に伝わりにくくなるから．

セーターが雪だるまの温度を保つので冷たい状態になりまた、直射日光も防いでくれるため

遅くなる。→熱を発するのではなく、伝達を遮断する素材であるから、雪より温かい外空気を遮断するためとけるのがおそくなる。

(7-2) 雪だるまが融けるのは遅くなる．
セーターに、外から雪だるまに伝わる熱を少なくする働きがあるため。

前回のミニッツペーパーから

雪だるまにセーターを着せる．融けるのは速くなるか，遅くなるか．



「セーターの色による」説

速くなると思う。
セーターの色にもよると思うけど、太陽の光を吸収して、
中があたたかくなると思うから。セーターは保温効果もある
と思うから、1度あたたかくなったら冷めにくいと思う。

黒い服を着ると、夏に暑く感じるのは本当ですか。
また、なぜ黒色なのですか。
（冬に黒い服を着ると、寒さ対策になるのでしょうか。）
逆に、寒く感じる色って何ですか。白色ですか。

黒は熱を吸収しやすい，白は反射しやすい色

雪だるまにセーターを着せる．融けるのは速くなるか，遅くなるか．理由も．

雪が降ったら実験しよう

雪だるま自体には暖かさはないためセーターを着せたところで溶けるのは速くはならない。むしろセーターを着ると太陽からの光を直接受ける面積が減るため溶けるのは遅くなる。（ただしマフラーの色によっては溶けるのが速くなってしまう気がします。）



「保冷効果で遅くなる」という意見が多かったが，実際には「太陽からの放射熱を受けなくなるので，遅くなる」と思われます．ただし，黒いセーターでは逆に熱を吸収するので「速い」と思われます．

セーター、マフラー、ぼうしの中で人間が1番あたたかいと感じつづけられる服装はどれでしょか？



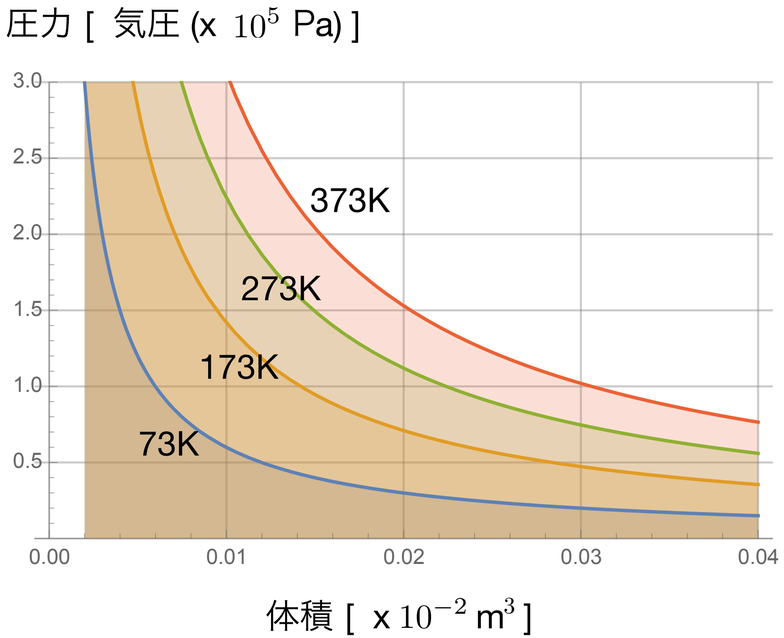




ボイルの法則

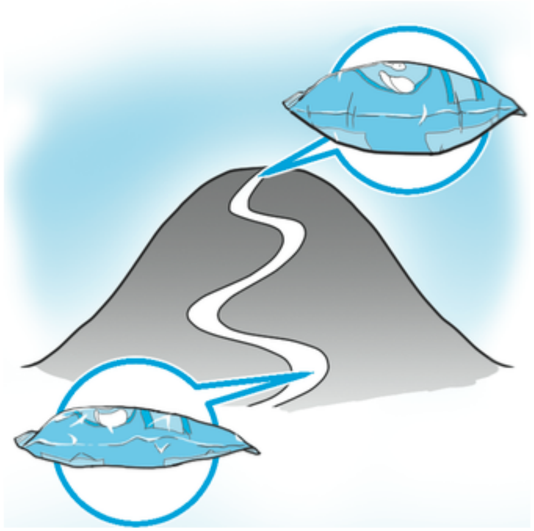
- **ボイルの法則**
  温度を一定にすると，気体の体積 V は，圧力 P に反比例する．

$$PV = 一定$$



Boyle の法則
山の上でポテトチップスの袋が膨らむ．

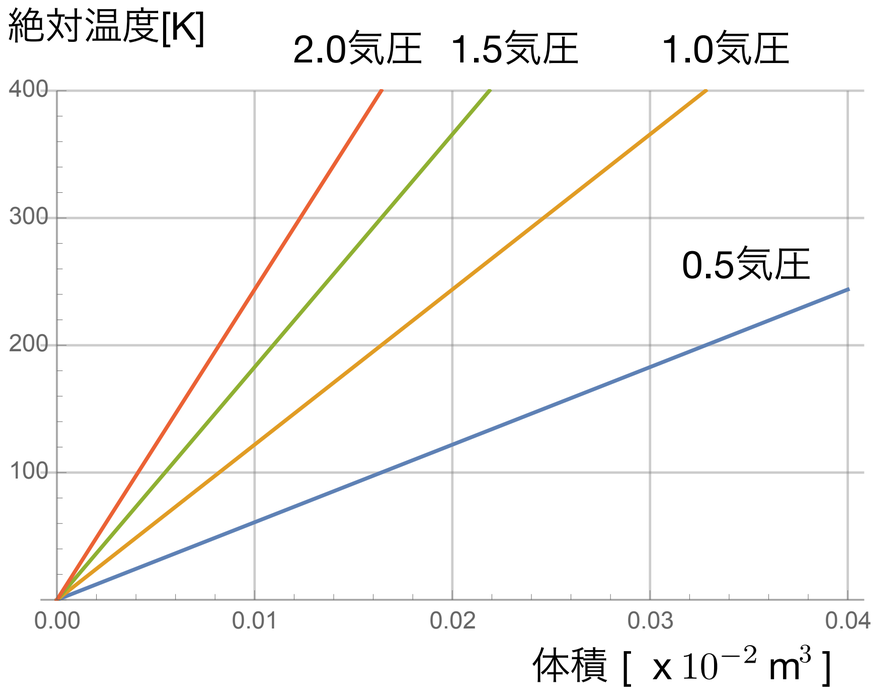




シャルルの法則

- **シャルルの法則**
  圧力を一定にすると，気体の体積 V は，絶対温度 T に比例する．

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$



Charles の法則
お湯が沸くと鍋の蓋が浮き上がる．



- **ボイルの法則**
  温度を一定にすると，気体の体積 V は，圧力 P に反比例する．

$$PV = \text{一定}$$

- **シャルルの法則**
  圧力を一定にすると，気体の体積 V は，絶対温度 T に比例する．

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

- **ボイル・シャルルの法則**

$$\frac{PV}{T} = \text{一定} = R\,(\text{気体定数})$$

気体の量が n 倍になると，

- **理想気体の状態方程式** (equation of state for ideal gas)

$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{すなわち} \quad PV = nRT$$

- **ボイルの法則**
  温度を一定にすると，気体の体積 V は，圧力 P に反比例する．

$$PV = \text{一定}$$

- **シャルルの法則**
  圧力を一定にすると，気体の体積 V は，絶対温度 T に比例する．

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

- **ボイル・シャルルの法則**

$$\frac{PV}{T} = \text{一定} = R\,(\text{気体定数})$$

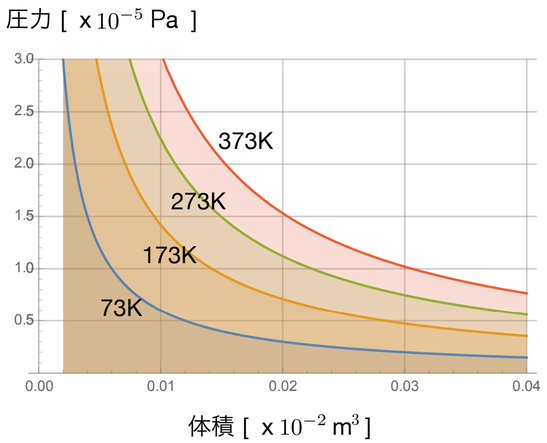
気体の量が n 倍になると，

- **理想気体の状態方程式** (equation of state for ideal gas)

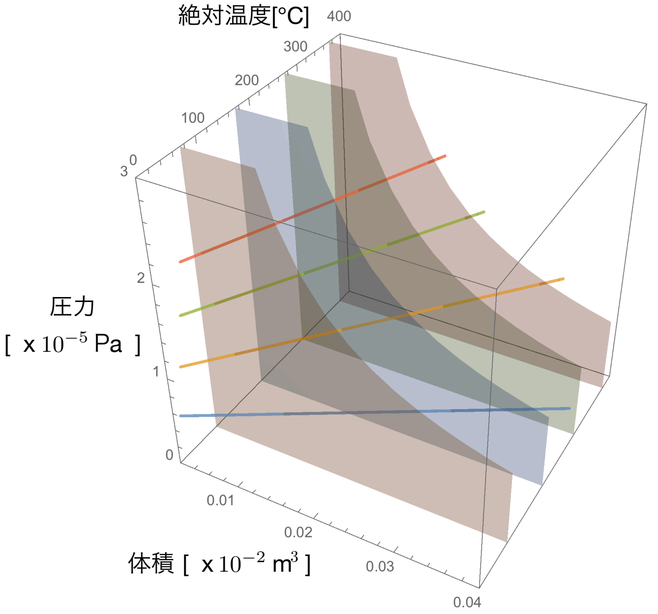
$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{すなわち} \quad PV = nRT$$

- **ボイル・シャルルの法則**

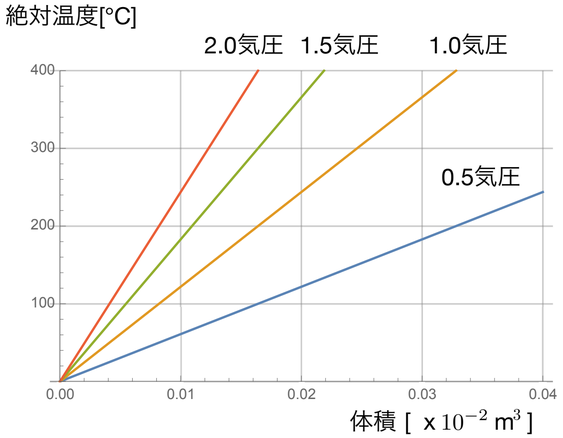
$$\frac{PV}{T} = \text{一定} = R\,(\text{気体定数}) \qquad (4.19)$$



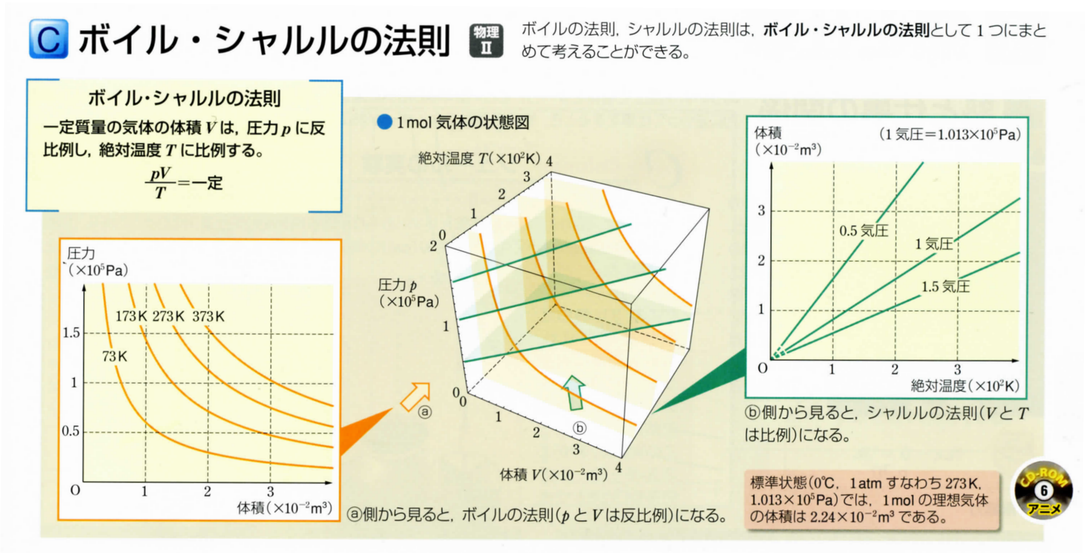
（a）PVグラフ



（b）PVTグラフ

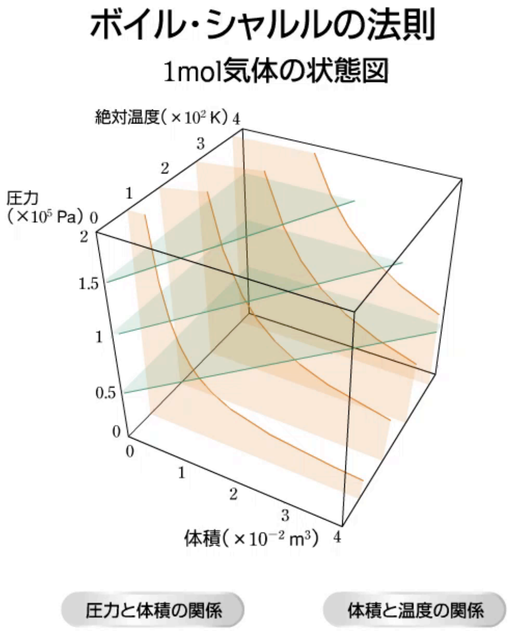


（c）TVグラフ

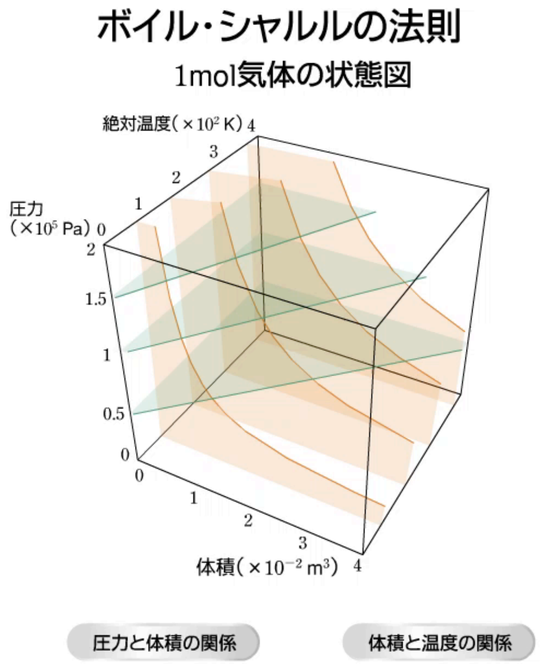


数研出版物理図録p49

CD-rom



Start on Click, 30 sec



Start on second Click, 30 sec

飽和水蒸気量

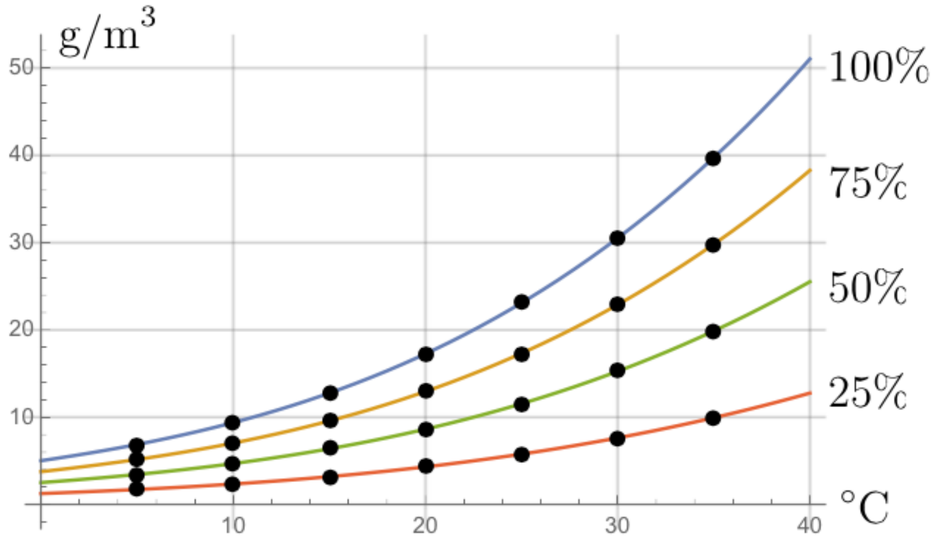
飽和水蒸気量＝空気中に溶け込める水蒸気の量

湿度＝水蒸気量/飽和水蒸気量



ビールジョッキが汗をかく

飽和水蒸気量と温度



温度が下がると
空気中に溶け込める
水は少なくなる

取り込み忘れた洗濯物が
夕方，湿っている

図 4.20 飽和水蒸気量 (図の 100% の線) の温度変化の様子.

コラム 24　天気予報で出される「○○指数」

夏場になると「不快指数」という言葉を耳にする．アメリカの旅行天気会社が考え出した値といわれるが，気温 T と湿度 H をもとにして，露点温度 T_0 を計算し，

$$\text{不快指数}\quad D = 0.72(T + T_0) + 40.6 \tag{4.10}$$

として計算する値だという．だが，この値は，風の影響を含めていないので，必ずしも体感と一致するわけではなく，気象庁の統計種目でもない．

最近では天気予報会社が付加価値を出すために「洗濯指数」，「お出かけ指数」，「ビール指数」，「鍋もの指数」，「のど飴指数」など，さまざまな数値を予報して出している．各社が，気温，湿度，風速，日射量などをもとに独自に計算しているもので，詳細な計算方法はほとんど公開されていない．

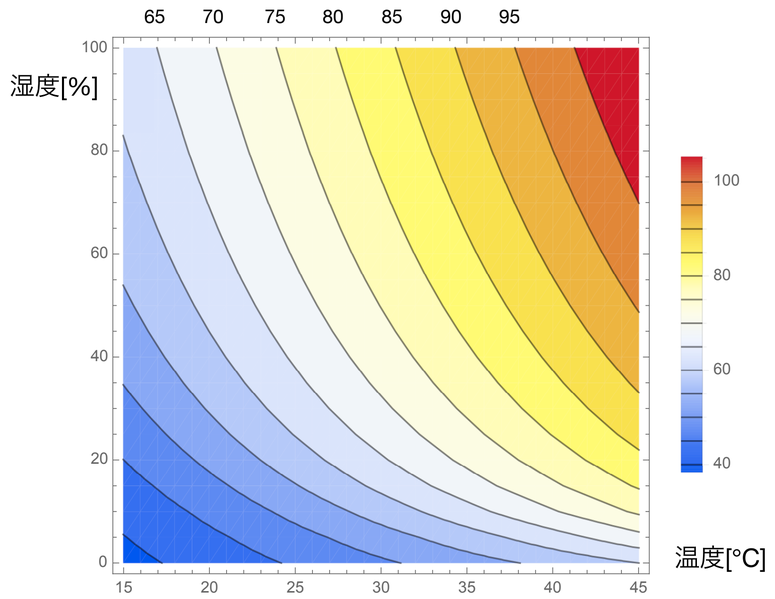


図 4.24　温度と湿度から不快指数を読み取る図　70 以上で一部の人が，75 以上で約半数，80 以上でほぼ全員が不快と感じ，85 以上で全員が苦痛を感じるという．



http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0040g/contents/fridge/compr01/index01.html

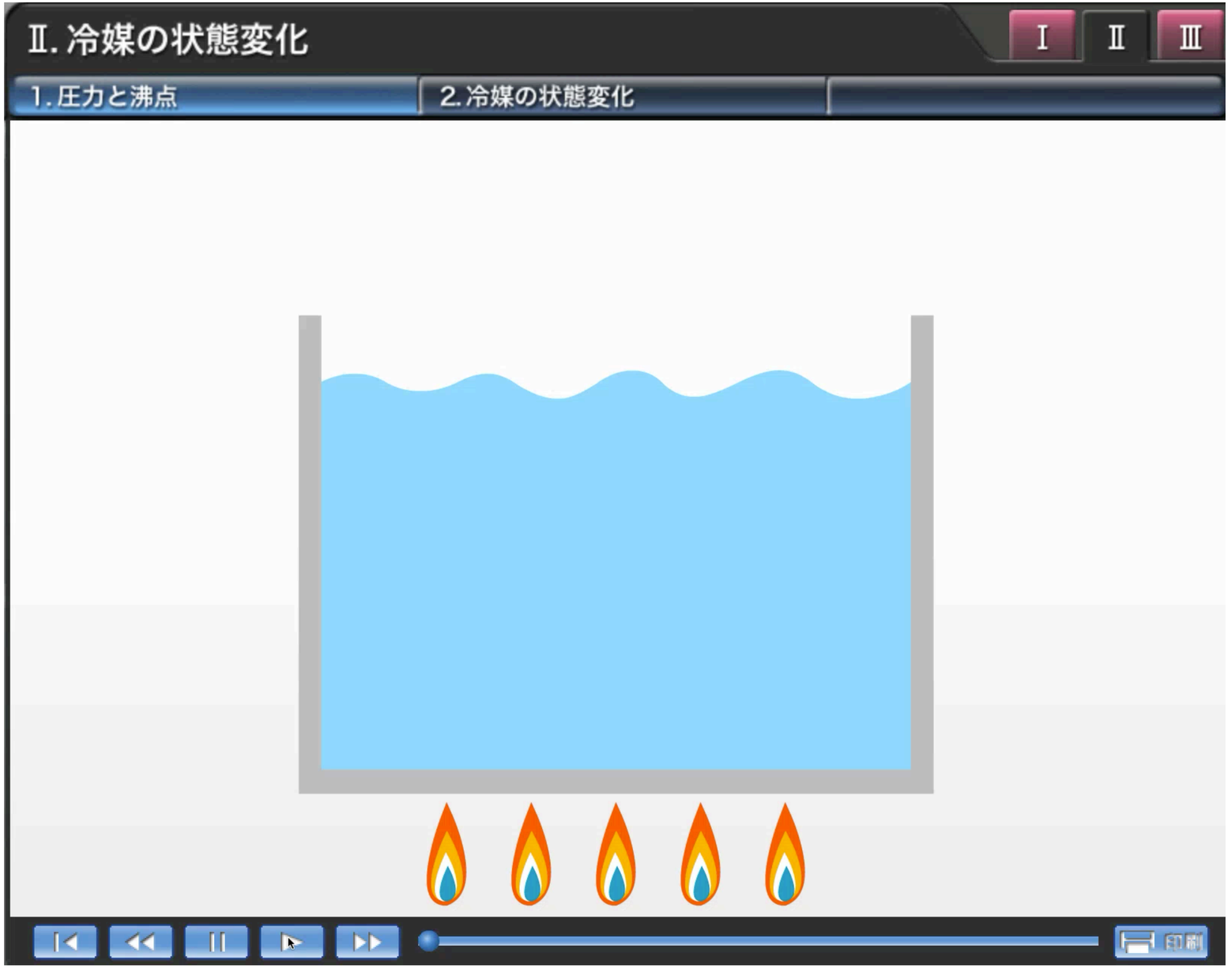
file

冷蔵庫のしくみ（1）



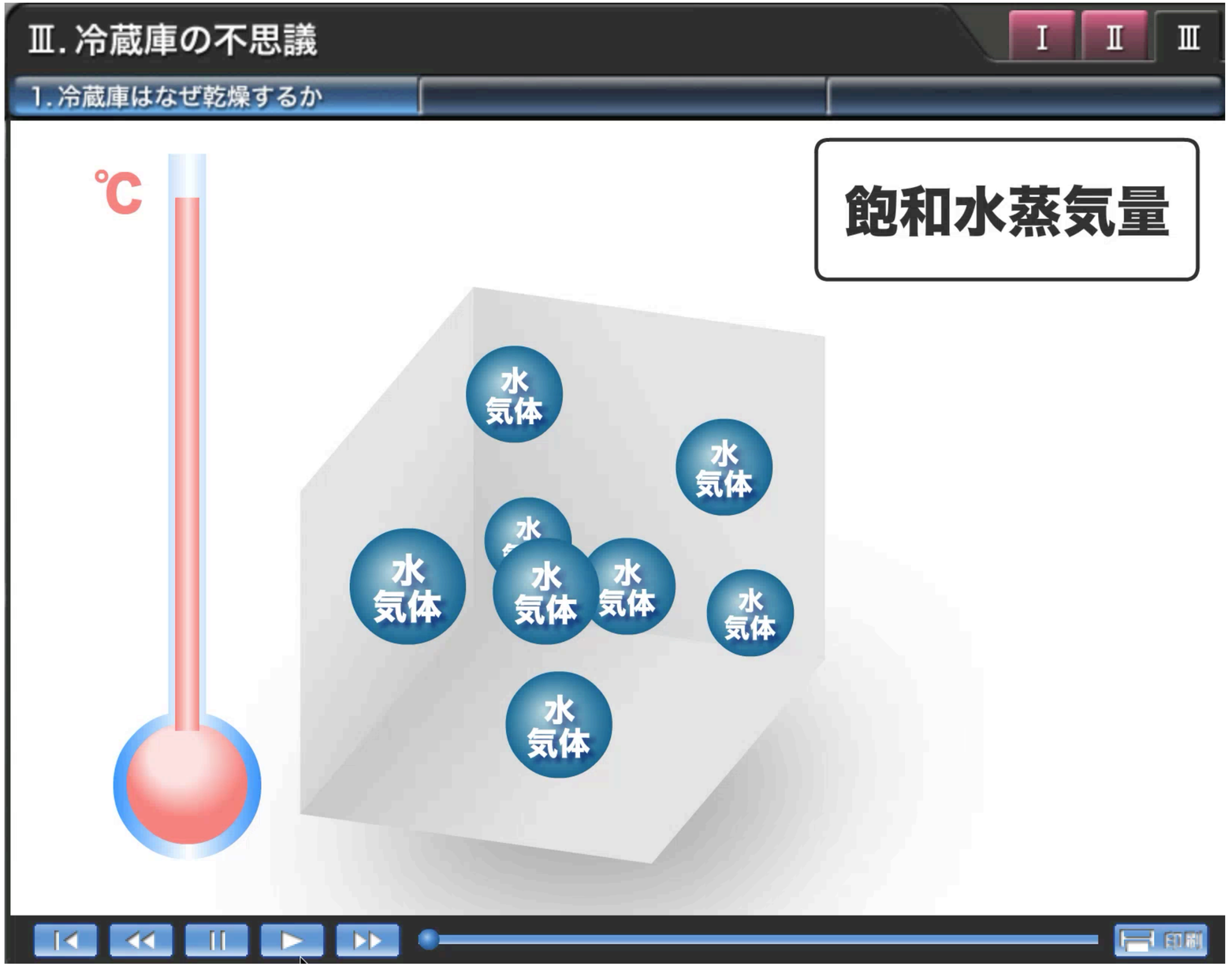
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0040g/contents/fridge/compr01/index01.html

冷蔵庫のしくみ（2）



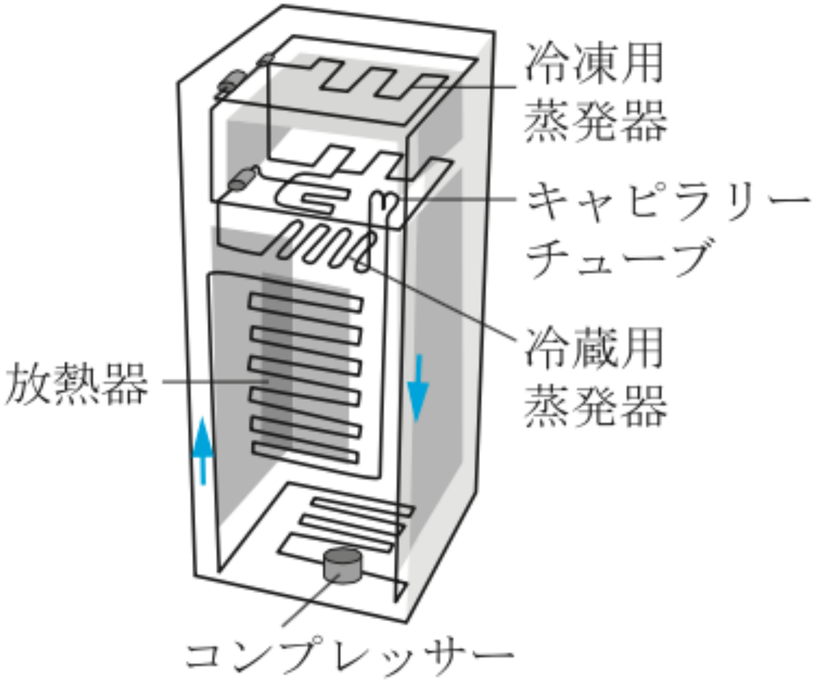
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0040g/contents/fridge/compr01/index01.html

冷蔵庫のしくみ（3）

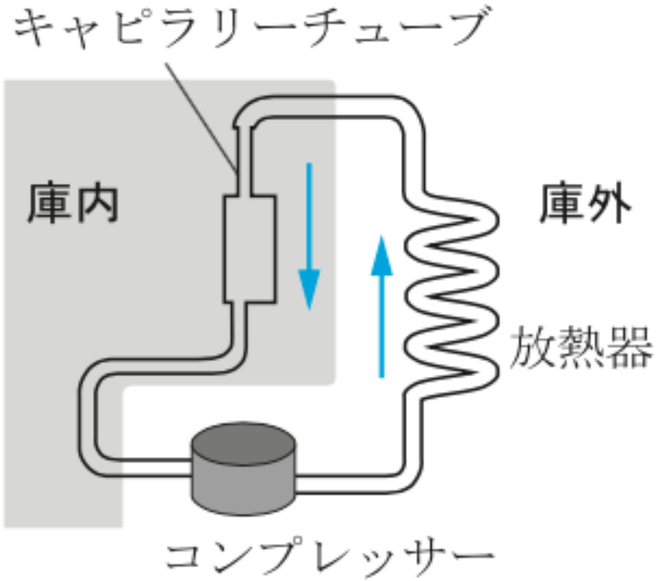


http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0040g/contents/fridge/compr01/index01.html

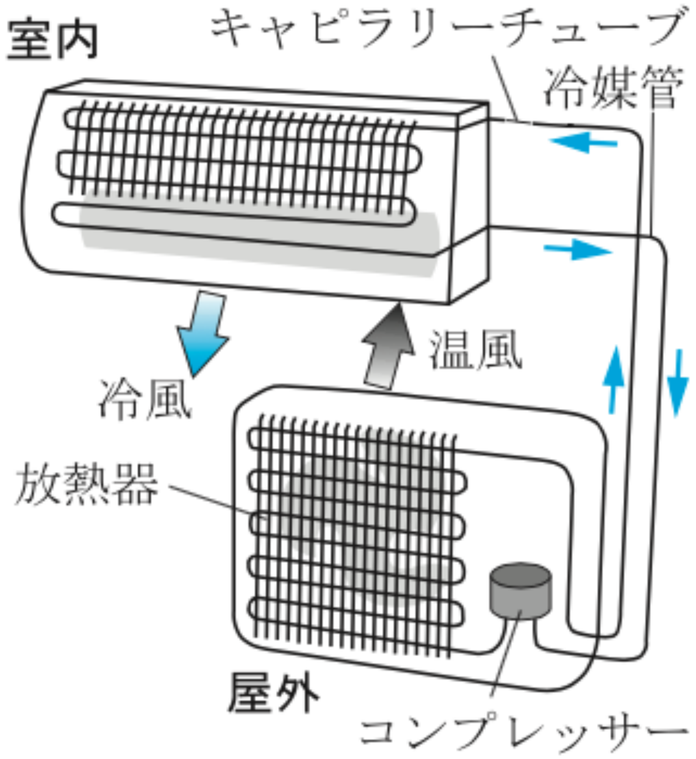
冷蔵庫のしくみ（4）



（a）冷蔵庫のしくみ



（b）冷蔵庫を循環する
冷媒の経路



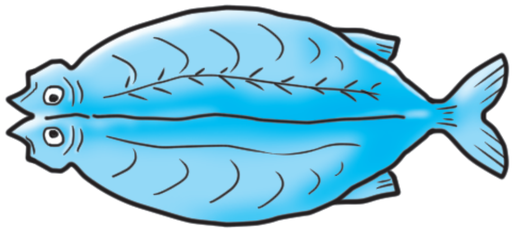
（c）エアコンのしくみ

Topic　冷蔵庫の中はなぜ乾燥するのか

冷蔵庫内は −40℃ 程度にまで冷却機で冷やされた空気が循環し，庫内の温度を下げる．冷気は周囲から熱を奪い，自分自身の温度は 0℃ 程度にまで上昇する．そうなると飽和水蒸気量は増えるので，冷蔵庫内の食材から水分を奪い取ることになる．最近の冷蔵庫には，密閉することで水分を逃がさない野菜室などがある．



乾燥した野菜



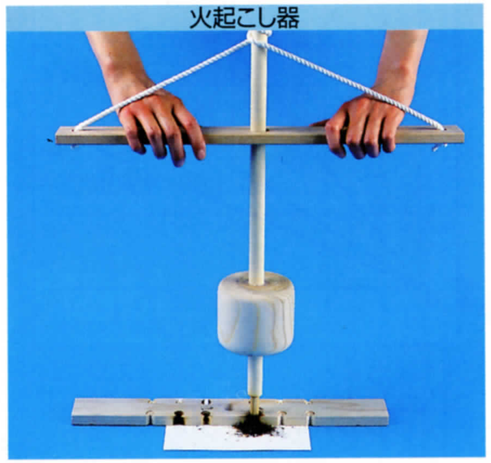
干物になった魚

ジュールの実験

ジュールの実験

ジュールは，おもりが下降することによる位置エネルギーの差が，水を撹拌する仕事に変わり，水の温度を上昇させることを実験で示した．これは，「温度の上昇が，エネルギーの増加と同じ」ことを意味していた．

●仕事による熱の発生



回転する木の棒の先端と，下の木の間の摩擦により，木は削れ，摩擦熱が発生する。こげて黒くなった木屑には種火がともる。

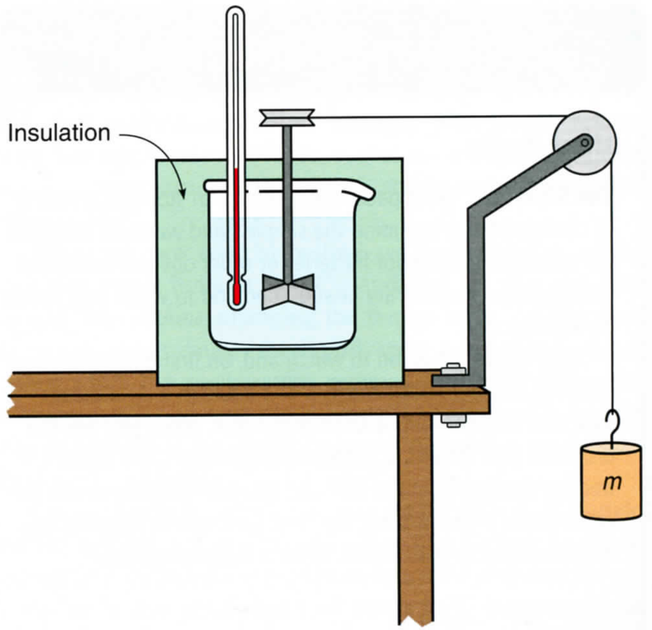
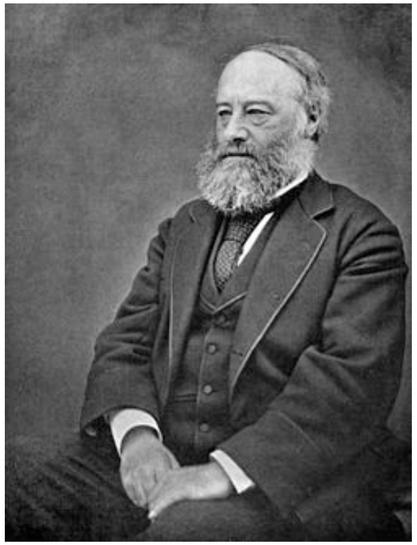


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.



James Prescott Joule
(1818-1889)

1845年，力学的エネルギーが熱に変換されることを示した．

実験 16　振り回してお湯をつくろう

携帯用魔法瓶に水を少量だけ入れて数分間激しく振ると，温度が上がることを実験してみよう（体温が水温を上げないように，魔法瓶で行う）．力学的な運動を熱に変えるのは，火おこしも同じである．木くずを連続的にこすり合わせることで生じる摩擦熱を利用している．釘を金づちで打つと熱くなるのも同じ原理だ．

ずっと以前のミニッツペーパーから

☆ ジュールの実験で水をかきまぜると温度が上がるって言ってたけど，あつあつのスープをスプーンでまぜると冷めてくる気がするのはなぜですか？ あれは逆効果ですか？

Topic　スープを攪拌すると温度が下がる

ジュールは，水を攪拌して温度が上がることを示した．この話を講義でした後で，学生から「スープをスプーンでかきまぜると温度が下がるのですが…」と質問された（汗）．確かに熱いスープを冷ますにはなるべく外気と接するように攪拌するのがよい．ジュールが示したのは，外気で冷めるよりもエネルギーを多量に加えれば，温度が上昇するということだ．

エネルギーの単位　[J] (ジュール)

位置エネルギー　mgh

$$mgh = 1[\mathrm{kg}] \cdot 9.8[\mathrm{m/s^2}] \cdot 1[\mathrm{m}] = 9.8[\mathrm{Nm}] = 9.8[\mathrm{J}]$$

1[g]の水の温度を1度上げるのに必要な熱量=1[cal]

法則　**熱の仕事当量**

力学的なエネルギーは熱に変換できる．換算係数は**熱の仕事当量**とよばれ，次の関係になる．

$$1\,\mathrm{cal} = 4.2\,\mathrm{J} \qquad (4.11)$$

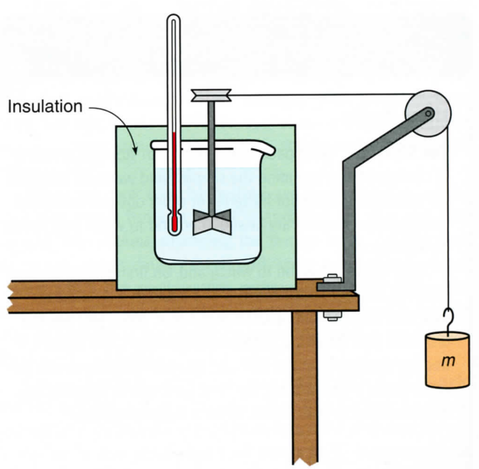


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.

基礎代謝エネルギー
（人間が１日あたり安静にしていても使うエネルギー）

	18～29歳	30～49歳	50歳以上
男性	24.0kcal	22.3kcal	21.5kcal
女性	22.1kcal	21.7kcal	20.7kcal

日本人の食事摂取基準2010年版より抜粋

1[g]の水の温度を1度上げるのに必要な熱量=1[cal]=4.2[J]

1日あたり必要な摂取カロリー（職業種類別）

女性	デスクワーク	立ち仕事	農業、漁業など	建設業など
女性20代	1800kcal	2000kcal	2400kcal	2800kcal
女性30代	1750kcal	2000kcal	2350kcal	2750kcal
女性40代	1700kcal	1950kcal	2300kcal	2700kcal
男性	デスクワーク	立ち仕事	農業、漁業など	建設業など
男性20代	2250kcal	2550kcal	3050kcal	3550kcal
男性30代	2200kcal	2500kcal	3000kcal	3500kcal
男性40代	2150kcal	2400kcal	2900kcal	3400kcal

http://muuum.com/calorie/1010.html

問題4.15 成人女性が 1 日に摂取するエネルギーは，1800 [kcal] ～ 2200 [kcal] 前後とされる．2000 [kcal] すべてを使うと，何 [kg] の氷を水に変えることができるか．

問題4.16 2000 [kcal] すべてを使うと，何 [kg] の水を水蒸気に変えることができるか．

問題4.17 2000 [kcal] すべてを使うと，何 [kg] の水を 10 [°C] 上昇させることができるか．

問題4.18 2000 [kcal] は，10[kg] の物体を何 [m] 持ち上げるエネルギーに相当するか．

第4章　熱と気体　熱エネルギー

4.1　温度は何で決まるのか

- 温度＝分子運動の激しさ
- 固体➔液体, 液体➔気体 の変化で熱エネルギーが必要
- 伝導, 対流, 放射

4.2　気体の法則, 熱力学の法則

- ボイルの法則, シャルルの法則
- 飽和水蒸気量
- ジュールの実験：力学的エネルギー➔熱エネルギー

熱力学第1法則

＝熱まで含めたエネルギー保存則

法則　熱力学の第 1 法則

熱はエネルギーの一形態である．力学的エネルギーなど，ほかのエネルギーと交換可能で，エネルギーの総和は一定である．

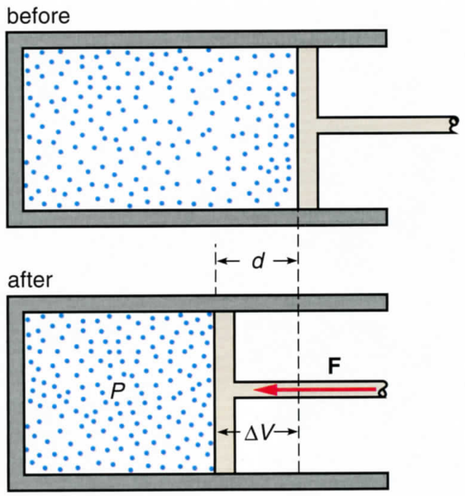


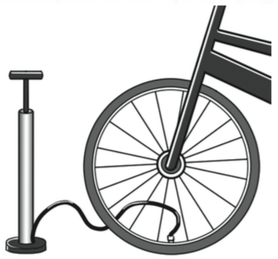
figure 10.15 A movable piston compresses a gas in a cylinder. The magnitude of the work done is $W = Fd = P\Delta V$.

法則　熱力学の第 1 法則（式表現）

気体に熱を加えると，温度上昇と膨張による外部への仕事に変換される．

$$Q = \Delta U + W \qquad (4.12)$$

気体に加えた熱 ＝ 内部エネルギーの増加 ＋ 外部にした仕事

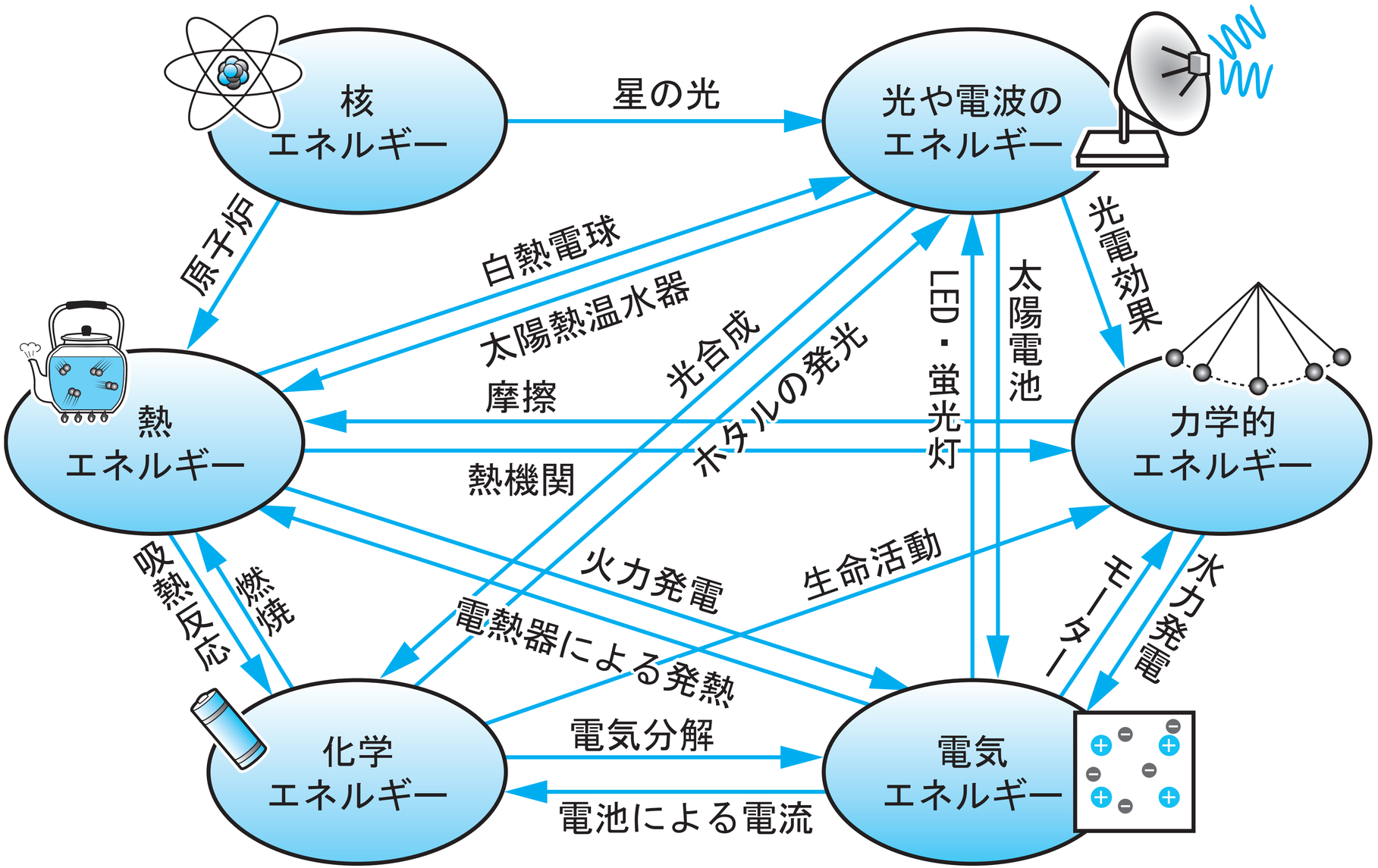


（a）タイヤに空気を入れると空気入れが熱くなる
（気体にした仕事＝正）



（b）スプレーを使うと缶が冷たくなる
（気体にした仕事＝負）

エネルギーは形態を変える

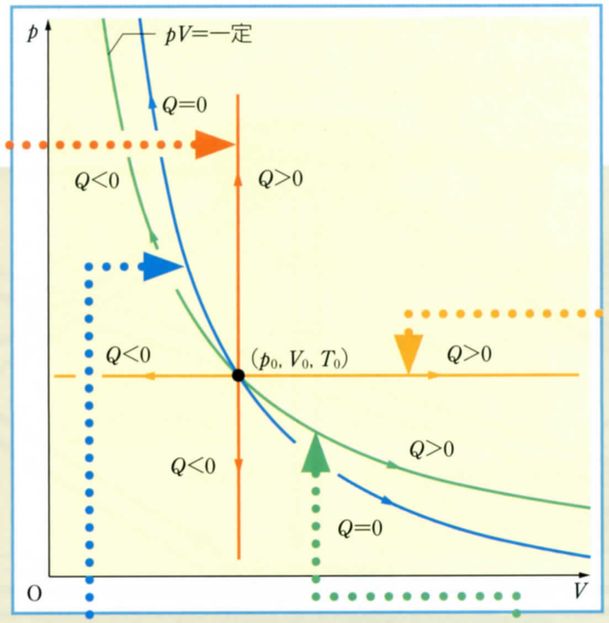


P-V グラフ

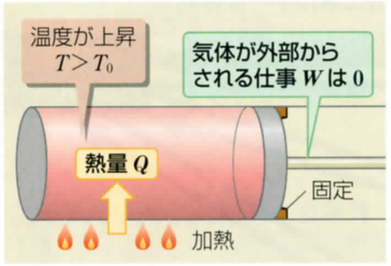
D 気体の状態変化 物

気体は，加熱・冷却や圧縮・膨張を行うと，圧力・体積・温度に変化が現れる。これらの変化は，熱力学第一法則の式（$\Delta U = Q + W$）から考えることができる。

●理想気体の状態図



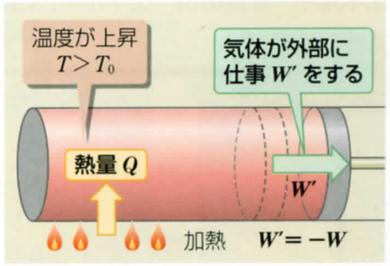
定積変化（等積変化）



体積を一定に保ったままでの変化。気体は外部から仕事をされないので，与えられた熱量がそのまま内部エネルギーの変化になる。

$\Delta U = Q \quad (W = 0)$

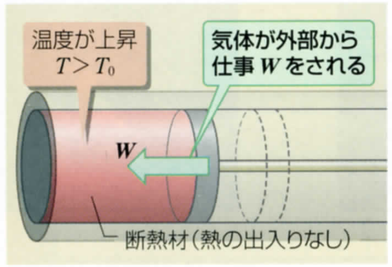
定圧変化（等圧変化）



圧力を一定に保ったままでの変化。圧力 p のもとで，気体がされた仕事 W は，体積の変化を ΔV とすれば，$W = -p\Delta V$ と表すことができる。

$\Delta U = Q - p\Delta V$

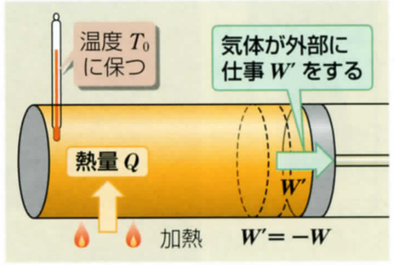
断熱変化



熱の出入りがない状態の変化。気体が外部から仕事を受けると，内部エネルギーが変化する。

$\Delta U = W \quad (Q = 0)$

等温変化



温度を一定に保ったままでの変化。内部エネルギーは変化しない。このとき，気体の体積は圧力に反比例する（ボイルの法則）。

$\Delta U = 0 \quad (Q = -W)$

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押したり引いたりして元の状態にもどすような作業を**熱サイクル**という．

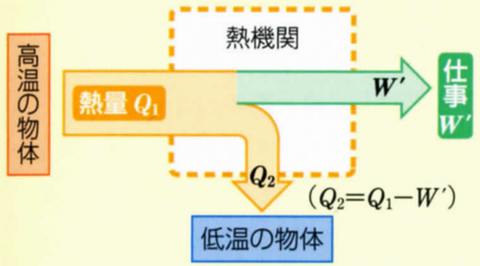
C 熱機関

高温物体から熱を吸収し，その熱の一部を仕事に変換する装置を **熱機関** という。吸収した熱量のうち仕事に変換された割合を **熱効率（熱機関の効率）** といい，これは熱機関の性能を示す指標となる。

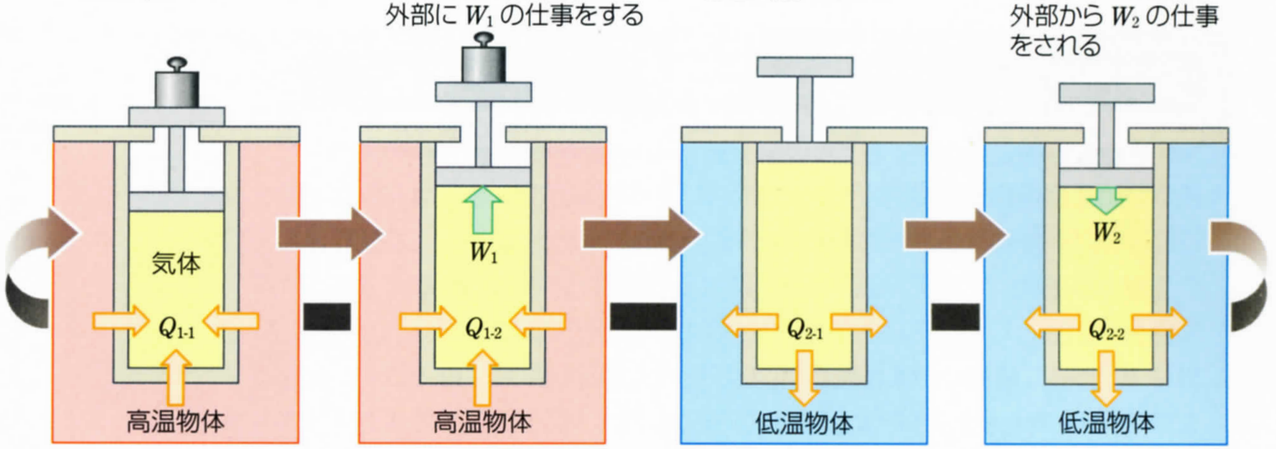
熱効率

$$e = \frac{W'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

W'〔J〕：熱機関がする仕事
Q_1〔J〕：高温の物体から吸収する熱量
Q_2〔J〕：低温の物体へ放出する熱量



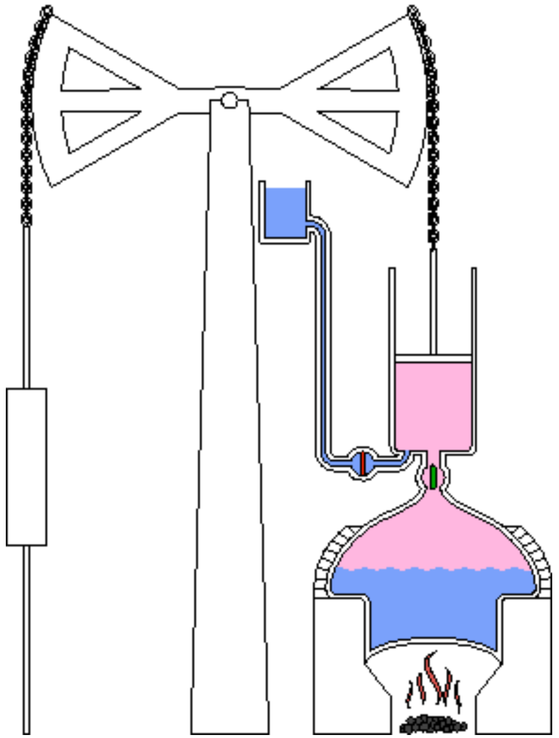
●熱機関の原理図

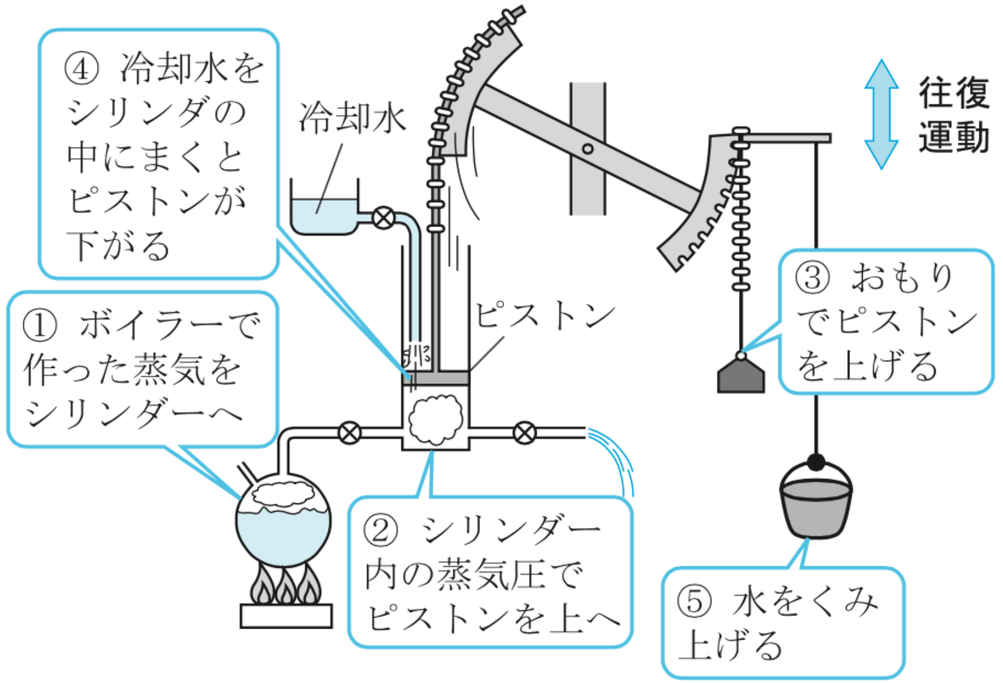


熱機関がする仕事 $W' = W_1 - W_2$
高温物体から吸収する熱量 $Q_1 = Q_{1\text{-}1} + Q_{1\text{-}2}$
低温物体へ放出する熱量 $Q_2 = Q_{2\text{-}1} + Q_{2\text{-}2}$

蒸気機関の発明(1)　ニューコメン

- ニューコメンは，1712 年に鉱山の排水用として蒸気機関を製作．蒸気に冷水を吹き込んで冷やし，蒸気が水に戻るときに生じる負圧（真空減圧）でピストンを吸引するもので，大気圧を利用する方法だった．



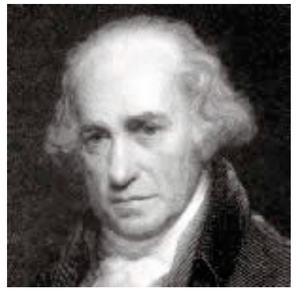


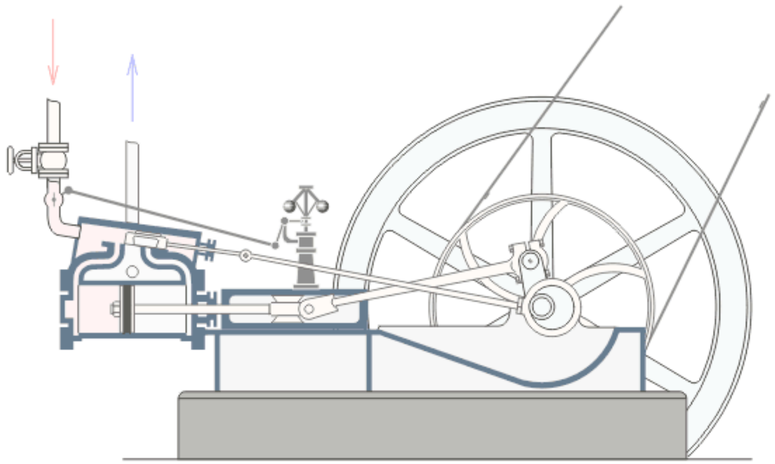
（a）ニューコメンの大気圧機関のしくみ

http://ja.wikipedia.org/wiki/トーマス・ニューコメン

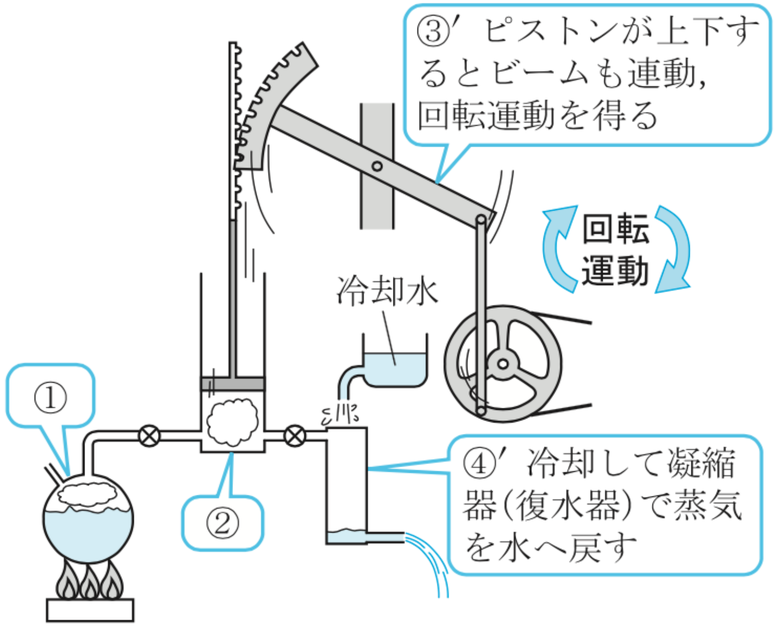
蒸気機関の発明(2)　ワット

- ワットは，1769 年に新方式の蒸気機関を開発．復水器で蒸気を冷やす方法でシリンダーが高温に保たれることとなり効率が増した．往復運動から回転運動への変換などの改良も行った．





http://mi.eng.cam.ac.uk/IALego/steam.html



（b）ワットの蒸気機関のしくみ

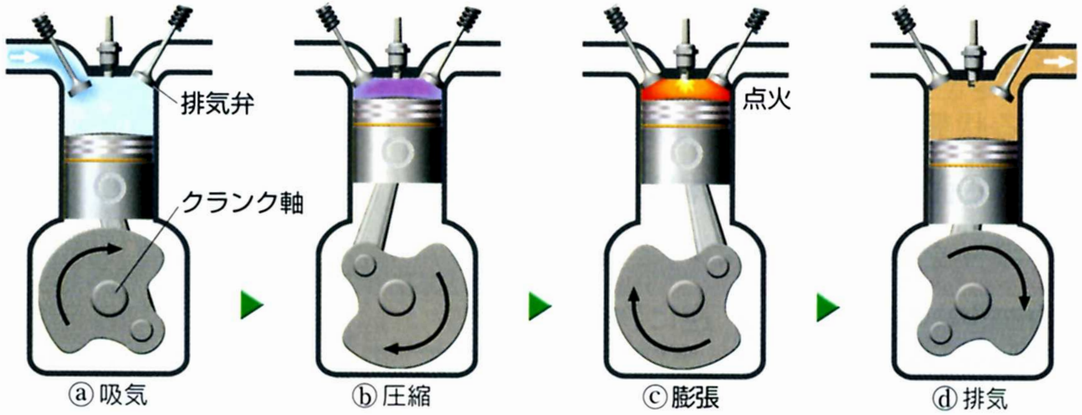
熱サイクル(1)　エンジンは熱サイクル

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押したり引いたりして元の状態にもどすような作業を**熱サイクル**という．

COLUMN

4サイクル・ガソリン・エンジン

下図は，自動車で用いられる4サイクル・ガソリン・エンジンである。



ⓐピストンが下降してガソリンと空気の混合気体がエンジンのシリンダーに吸い込まれる。

ⓑこの混合気体をピストンで圧縮

ⓒ火花を飛ばして混合気体に点火する。点火されて燃焼した気体は急激に膨張してピストンを押し下げて，力学的な仕事をする。

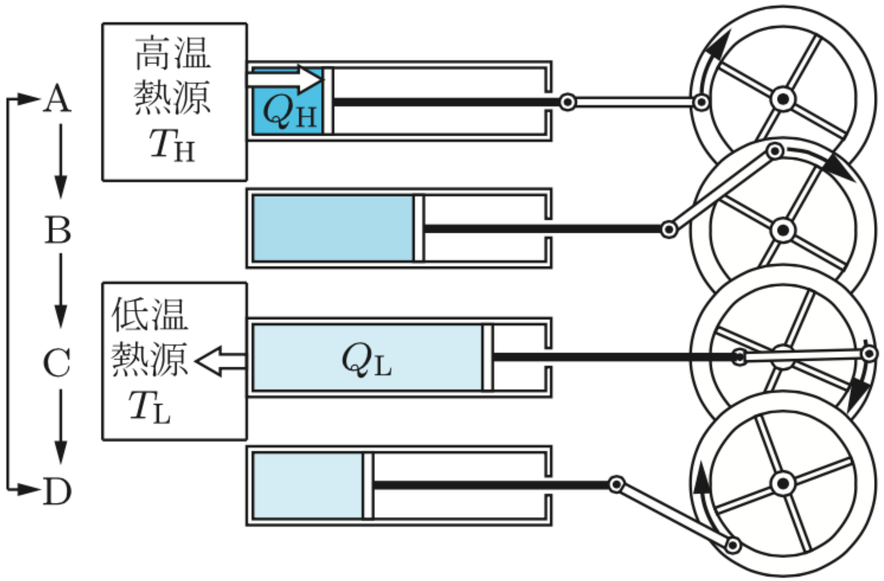
ⓓ仕事をし終わった燃焼ガスを排気する。

そして，ⓐの過程から繰り返される。

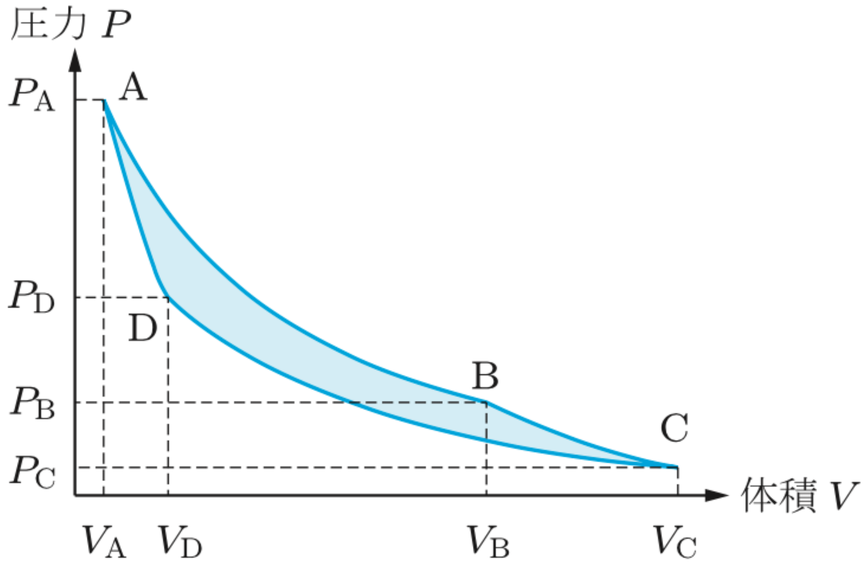
動力はⓒの燃焼ガスの膨張過程でのみ生じる。

熱サイクル(2)　エンジンは熱サイクル

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押したり引いたりして元の状態にもどすような作業を**熱サイクル**という．

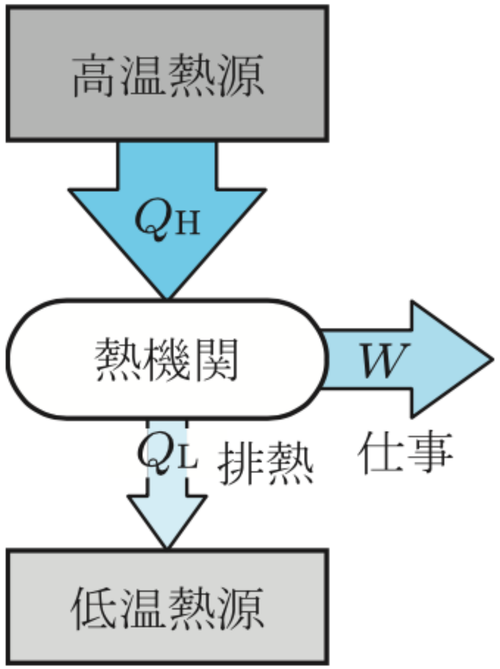


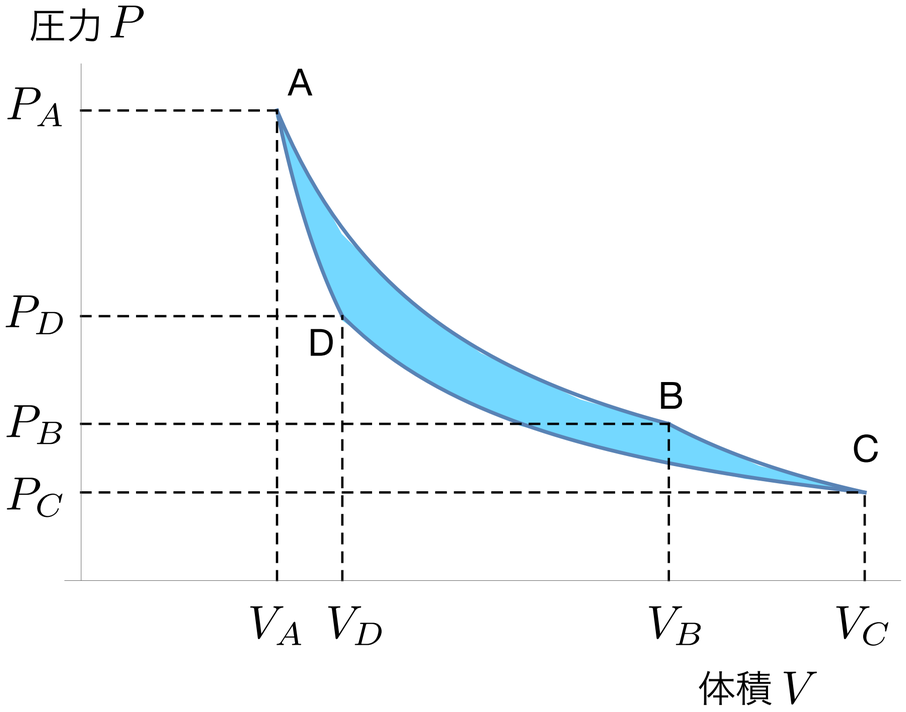
（a）シリンダー内の気体がピストンを押して仕事をする熱機関

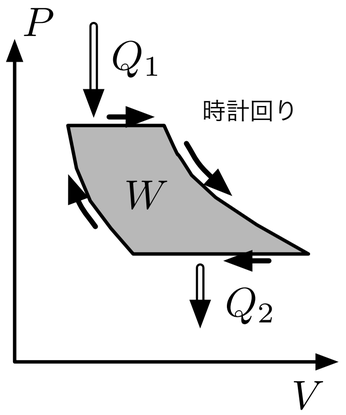


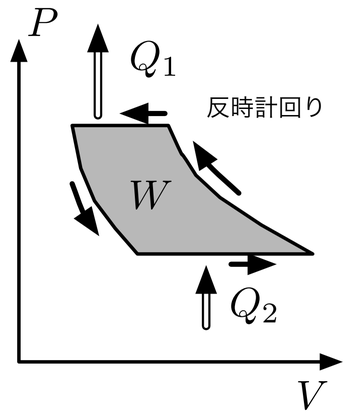
（b）P–Vグラフ

PVグラフを右回りか, 左回りか







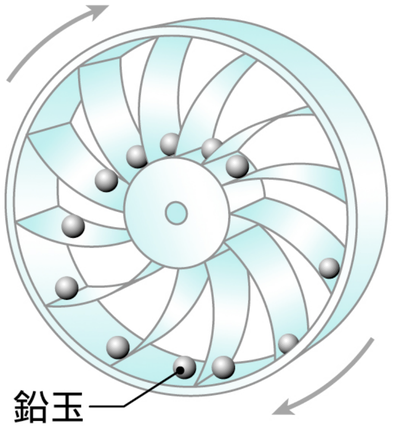


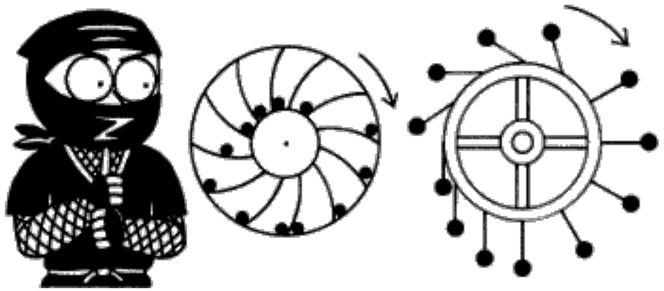
第4章　熱と気体　　熱エネルギー

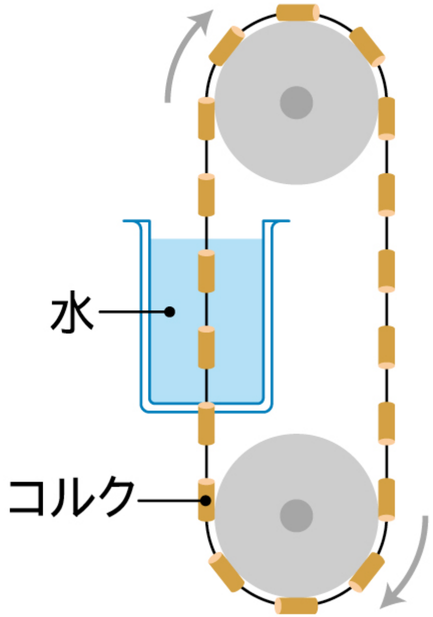
4.3　熱効率と不可逆変化

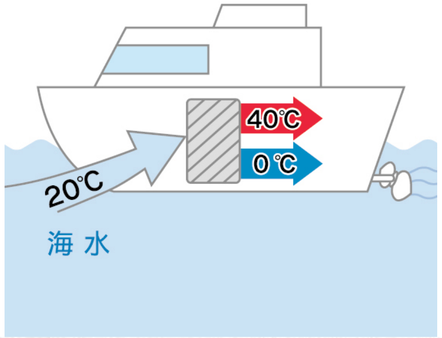
- 熱機関＝熱エネルギーから仕事をする装置
  PVグラフを右回り＝外に仕事をする（エンジン）
  PVグラフを左回り＝外から仕事をされる（冷蔵庫）
- 熱効率＝（外にした仕事）/（加えた熱エネルギー）
- 永久機関は不可能
  エネルギー保存則に反する
  熱には流れがある（エントロピー増大則）

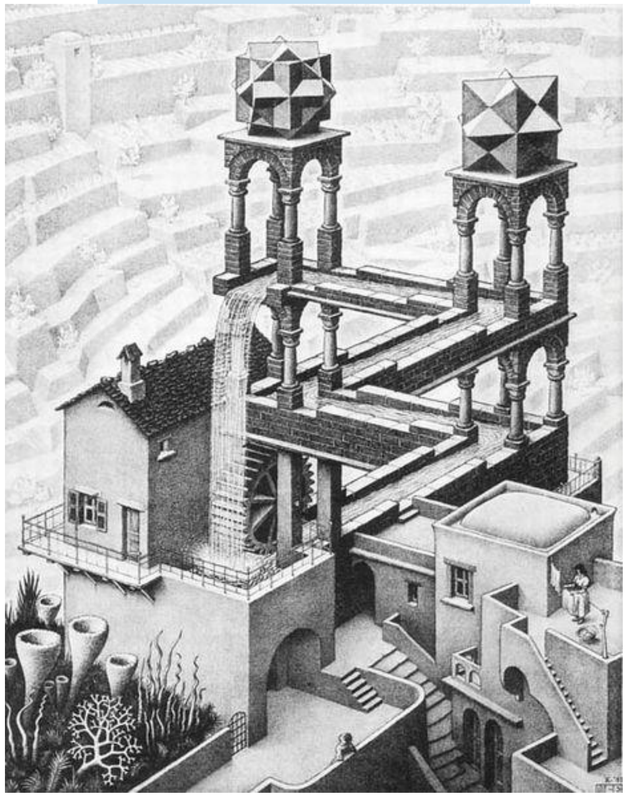












http://rikanet2.jst.go.jp/search.php?id=index&keyword=永久機関

水飲み鳥は熱機関，永久機関ではない

サイクルは以下のように働く.

1. 頭部から水が蒸発する（マクスウェル分布）
2. 蒸発により頭部の温度が下がる（蒸発熱）
3. 温度の低下により頭部のジクロロメタン蒸気が凝集する
4. 温度の低下と凝集により頭部の気圧が下がる（理想気体の状態方程式）
5. 頭部と胴体の気圧差により管内の液面が上昇する
6. 液体が頭部に流れ込むことで重心が上がり、前方へ傾く
7. 傾くことで管の下端が液面より上に出る
8. 蒸気の気泡が管を通って上昇し、液体は下降する
9. 液体が胴体に流れ、頭部と胴体の気圧が平衡する
10. 液体が胴体へ戻ったことで重心が下がり、鳥は元の直立状態に戻る





エネルギー源は周囲環境の熱であり、この玩具は永久機関ではない。

http://ja.wikipedia.org/wiki/水飲み鳥

本日のミニッツペーパー記入項目

出席票を兼ねます.

〔8-1〕(今日の講義から)

高さ100mの滝から水が落下した. 位置エネルギーがすべて熱に変化したとすると, 水の温度は何度上昇するか.

Note: 位置エネルギー $E[\mathrm{J}] = mgh$ $g = 9.8[\mathrm{m/s^2}]$

熱の仕事等量 $1[\mathrm{cal}] = 4.2[\mathrm{J}]$

〔8-2〕それぞれについて, 直観で(調べずに), **科学的に正しいと思う/思わない/どちらともいえない** を答えてください. できれば理由を添えて.

① **血液型性格診断** 「Aは几帳面, Bはマイペース, Oはおおざっぱ, ABは天才肌」

② **マイナスイオンは体によい** 「マイナスイオン・ドライアーで髪がさらさら」

③ **携帯の電波は心臓ペースメーカーに危害を加える**
「混雑時あるいは優先席付近では携帯電話の電源をお切りください」

④ **ゲーム脳** ゲームばかりしていると頭が悪くなる

⑤ **UFO** 宇宙人の乗り物である

⑥ **水に優しい言葉**をかけて凍らせるときれいな結晶ができる

⑦ **EM菌** 有用微生物群(Effective Microorganisms、EM)





京都大原三千院入口付近にて, 2023年11月